

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESTUDIO DE LA HETEROGENEIDAD ESTRUCTURAL DEL CAMPO  
NATURAL SOMETIDO A DOS OFERTAS DE FORRAJE EN PASTOREO  
CONTINUO Y ROTATIVO**

**por**

**Lucas Alex CAMARANO MARTÍNEZ  
Juaquin Ignacio MOLINA ALONZO  
María Mercedes VERDAGUER VIÑOLY**

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

**PAYSANDÚ  
URUGUAY  
2024**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

---

Ing. Agr. (Mag.) Felipe Casalás Mouriño

Co-Director:

---

Ing. Agr. (Dr.) Pablo Boggiano

Tribunal:

---

Ing. Agr. (Mag.) Daniel Formoso

---

Ing. Agr. (Dr.) David Silveira

---

Ing. Agr. (Dr.) Javier García Favre

Fecha:

14 de mayo de 2024

Estudiante:

---

Lucas Alex Camarano Martínez

---

Juaquin Ignacio Molina Alonzo

---

María Mercedes Verdaguer Viñoly

## AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía, y Estación Experimental Mario A. Cassinoni, por brindarnos la oportunidad y medios para la realización de la carrera.

A nuestro tutor de tesis Ing. Agr. (Mag.) Felipe Casalás Mouriño, y co-tutor Ing. Agr. (PhD.) Pablo Boggiano Otón, por la dedicación y conocimiento compartido en la elaboración de este trabajo.

A los docentes Ing. Agr. Emiliano Caravia Odella e Ing. Agr. (PhD.) Javier García Favre por los intercambios y aportes durante este proceso.

A los funcionarios/as de la Estación, en especial a Patricia Choca y Carol Guillemint, por la valiosa ayuda y orientación.

A nuestras familias, por la compañía y ser pilares fundamentales durante nuestros estudios.

A nuestros amigos y compañeros, por el apoyo y los inolvidables momentos en estos años de carrera.

Y a quienes hoy acompañan, en este logro tan importante para nosotros.

## TABLA DE CONTENIDOS

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS .....	3
RESUMEN.....	9
SUMMARY .....	10
1. INTRODUCCIÓN .....	11
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1. CAMPO NATURAL EN URUGUAY .....	13
2.1.1. Generalidades del campo natural .....	13
2.1.2. Importancia del campo natural .....	14
2.2. SISTEMAS PASTORILES .....	15
2.2.1. Ecosistema pastoril .....	15
2.2.2. Relación suelo – clima – planta – animal .....	16
2.3. MANEJO DEL PASTOREO .....	18
2.3.1. Introducción .....	18
2.3.2. Decisiones en el manejo del pastoreo .....	19
2.3.2.1. Intensidad .....	19
2.3.2.2. Frecuencia .....	20
2.3.2.3. Implicancias del manejo a través de la carga animal .....	20
2.3.3. Oferta de forraje.....	21
2.3.4. Estructura de la pastura y desempeño animal.....	22
2.3.5. Métodos de pastoreo .....	24
2.3.5.1. Pastoreo continuo .....	25
2.3.5.2. Pastoreo rotativo.....	26
2.4. EFECTO DE LA OFERTA DE FORRAJE .....	28
2.4.1. En la producción de forraje.....	28
2.4.2. En la estructura de la pastura .....	29
2.4.3. En la composición botánica .....	30
2.4.4. En la producción animal .....	32

2.5. EFECTO DEL MÉTODO DE PASTOREO.....	33
2.5.1. En la producción de forraje.....	33
2.5.2. En la estructura de la pastura .....	36
2.5.3. En la composición botánica .....	37
2.5.4. En la producción animal .....	39
2.6. INTERACCIÓN MÉTODO DE PASTOREO Y OFERTA DE FORRAJE.....	41
3. HIPÓTESIS BIOLÓGICA .....	43
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	44
4.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES.....	44
4.1.1. Localización del sitio experimental .....	44
4.1.2. Caracterización del sitio experimental.....	45
4.1.3. Antecedentes del área experimental.....	45
4.1.4. Clasificación de zonas de estudio .....	46
4.1.5. Diseño experimental y descripción de los tratamientos.....	47
4.1.6. Animales experimentales .....	47
4.1.7. Manejo del pastoreo.....	47
4.1.8. Balance hídrico .....	48
4.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	49
4.2.1. Determinaciones en la pastura .....	49
4.2.1.1. Altura de forraje .....	49
4.2.1.2. Materia seca presente y tasa de crecimiento .....	50
4.2.1.3. Composición de la masa de forraje disponible .....	51
4.2.1.4. Variables calculadas .....	52
4.2.1.4.1. Forraje disponible.....	52
4.2.1.4.2. Oferta de forraje real .....	52
4.2.2. Determinaciones en los animales.....	52
4.2.2.1. Peso vivo .....	52
4.2.2.2. Carga animal .....	52
4.2.2.3. Carga animal instantánea .....	53
4.2.2.4. Variables calculadas .....	53
4.2.2.4.1. Ganancia media diaria .....	53
4.2.2.4.2. Ganancia por hectárea .....	53



## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla No.</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b> Interpretación de las características y objetivos de los métodos de pastoreo Continuo y Rotativo .....	25
<b>Tabla 2</b> Caracterización de los ciclos de pastoreo involucrados en el período de evaluación .....	48
<b>Tabla 3</b> Composición de los g.l. para el modelo estadístico asociado a la pastura .....	58
<b>Tabla 4</b> Composición de los g.l. para el modelo estadístico asociado a los animales .....	59
<b>Tabla 5</b> Frecuencias absolutas (FA) y relativas (FR) de la altura (cm) por estratos .....	66
<b>Tabla 6</b> Altura promedio, desvío estándar y coeficiente de variación (%) por tratamiento y zona para cada fecha de evaluación .....	71
<b>Tabla 7</b> Análisis estadístico de la altura promedio (cm) .....	72
<b>Tabla 8</b> Heterogeneidad detectada a través del Test de Levene sobre los residuos absolutos.....	74
<b>Tabla 9</b> Disponibilidad de forraje (kg MS/ha) según la altura promedio (cm) ....	76
<b>Tabla 10</b> Contribución por grupo botanal a la MS presente (%) para cada conglomerado.....	82
<b>Tabla 11</b> Resumen del nivel de significancia para cada grupo en aporte de MS (%) .....	84
<b>Tabla 12</b> Resumen del nivel de significancia para cada grupo en masa de forraje (kg MS/ha) .....	85
<b>Tabla 13</b> Análisis estadístico para restos secos en ZxOF en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%) .....	86
<b>Tabla 14</b> Análisis estadístico para grupos significativos en ZxM en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%).....	86
<b>Tabla 15</b> Análisis estadístico para grupos significativos en MxOF en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%) .....	87
<b>Tabla 16</b> Análisis estadístico para grupos significativos por factores individuales en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%) .....	88
<b>Tabla 17</b> Evolución de la carga animal (kg PV/ha y UG/ha) por sub - período y para el total del período para los métodos y OF .....	89
<b>Tabla 18</b> Evolución de las cargas instantáneas (kg PV/ha y UG/ha) en Rotativos para cada sub-período y el total del período .....	90
<b>Tabla 19</b> Ganancias medias diarias promedio (kg PV/a/día) y por unidad de área por sub - período y totales (kg PV/ha) .....	90
<b>Tabla 20</b> Ofertas de forraje reales (kg MS/100 kg PV) a las cuales se condujo el experimento.....	92

<b>Figura No.</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> Estructura básica y ciclo energético en el ecosistema pratense .....	15
<b>Figura 2</b> Modelo conceptual de funcionamiento del ecosistema pastoril natural	17
<b>Figura 3</b> Croquis del experimento.....	44
<b>Figura 4</b> Mapa con la clasificación de zonas en estudio .....	46
<b>Figura 5</b> Croquis del experimento incluyendo el recorrido de transectas fijas para los tratamientos Continuos.....	50
<b>Figura 6</b> Orden cronológico y detalle de las mediciones realizadas durante el período de evaluación .....	54
<b>Figura 7</b> Precipitaciones y temperaturas en el ejercicio 2022/23, y su comparación con las medias históricas.....	60
<b>Figura 8</b> Balance hídrico decádico para el ejercicio 2022/23 detallando el período de estudio .....	61
<b>Figura 9</b> Gráficos de cajas (box – plot) para las alturas promedio por tratamiento para el período.....	62
<b>Figura 10</b> Evolución de la altura promedio por tratamiento y fecha de medición completa .....	63
<b>Figura 11</b> Desvío estándar de las alturas promedio por tratamiento para cada fecha en el período evaluado .....	64
<b>Figura 12</b> Gráficos de cajas (box – plot) para las alturas promedio por tratamiento para cada fecha.....	65
<b>Figura 13</b> Diagrama de densidad de puntos para la zona de Bajo .....	69
<b>Figura 14</b> Diagrama de densidad de puntos por tratamiento para la zona Media	70
<b>Figura 15</b> Diagrama de densidad de puntos por tratamiento para zona de Litosol .....	70
<b>Figura 16</b> Gráfico de componentes principales (bi – plot) para grupos botanales por aporte en proporción (%) .....	77
<b>Figura 17</b> Análisis de conglomerados para los grupos botanales considerando la interacción triple de los factores .....	81
<b>Figura 18</b> Evolución de las ofertas de forraje reales (kg MS/100 kg PV) durante el período evaluado .....	93

## RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía - Universidad de la República, ubicada sobre la ruta nacional N.º 3 Gral. José Gervasio Artigas, kilómetro 363, en el departamento de Paysandú, Uruguay. El estudio se desarrolló sobre el potrero 13 (La -32.387511°S y Lo -58.033235°O), abarcando un área de 37,8 hectáreas de campo natural restablecido, donde se encuentra instalado un experimento con una estructura factorial de tratamientos (2x2) que evalúa dos métodos de pastoreo (Continuo y Rotativo) y dos niveles de oferta de forraje (Alta y Baja, siendo las combinaciones 12% en primavera - verano y 8% en otoño - invierno, y, 8% en primavera - verano y 4% en otoño - invierno, respectivamente). Los animales utilizados son novillos de recría de raza Holando. Los niveles de OF se ajustan mensualmente según la disponibilidad de forraje (kg MS/ha) y la tasa de crecimiento esperada, regulando las cargas animales a partir de los datos de pesadas mensuales. El período de evaluación se extendió desde el 15 de marzo hasta el 23 de junio de 2023, comprendiendo la estación de otoño. El objetivo del estudio consistió en caracterizar la heterogeneidad estructural y la composición botánica del campo natural sometido a los distintos manejos del pastoreo, relacionando estos factores a la respuesta animal individual obtenida. Para una mejor interpretación de los resultados, se clasificó el área en tres zonas - Bajo, Medio y Litosol - correspondientes a situaciones contrastantes de tipos de suelo, según cartografía y estimación visual a campo. Las variables determinadas fueron altura del forraje (cm), masa de forraje presente (kg MS/ha), composición botánica y ganancias medias diarias de los animales (kg PV/a/día). Para el análisis de los resultados, se utilizó el software estadístico InfoStat aplicando técnicas descriptivas multivariadas y univariadas (ANAVA), y prueba de homogeneidad de varianzas (Test de Levene); realizando, posteriormente, pruebas de comparación de medias mediante Tukey con nivel de significancia al 10%. Los resultados mostraron que la estructura (altura) de la pastura estuvo condicionada por el método de pastoreo y la zona, más que por el nivel de OF; con alturas mayores en el Rotativo, y según la zona, en ambos métodos de pastoreo, en orden descendente desde el Bajo, Medio y Litosol. La heterogeneidad de estructuras fue condicionada por el nivel de OF, y en segundo lugar, por la zona estudiada; siendo mayor la heterogeneidad a nivel de OF Alto, y en el mismo orden descendente desde Bajo, Medio y Litosol. La composición botánica estuvo definida inicialmente, por la zona estudiada, con respuestas independientes según el método de pastoreo y nivel de OF; observando conjuntos contrastantes en tipos vegetativos y productivos, según estos dos últimos factores. Las ganancias medias diarias de los animales no mostraron diferencias significativas según los tratamientos aplicados.

*Palabras clave:* métodos de pastoreo, estructura de la pastura, altura de forraje, composición botánica, desempeño animal, análisis multivariado, Test de Levene

## SUMMARY

The present work was carried out at the Mario A. Cassinoni Experimental Station of the Faculty of Agronomy - University of the Republic, located on National Route No. 3 Gral. José Gervasio Artigas, kilometer 363, in the department of Paysandú, Uruguay. The study was conducted on paddock 13 (Lat -32.387511°S and Long -58.033235°W), covering an area of 37,8 hectares of restored natural grassland, where an experiment with a factorial treatment structure (2x2) is set up to evaluate two grazing methods (Continuous and Rotational) and two forage allowance levels (High and Low, with the combinations being 12% in spring-summer and 8% in autumn-winter, and 8% in spring-summer and 4% in autumn-winter, respectively). The animals used are Holando steers in the rearing phase. The forage allowance levels are adjusted monthly according to forage availability (kg DM/ha) and the expected growth rate, regulating animal loads based on monthly weighing data. The evaluation period extended from March 15 to June 23, 2023, encompassing the autumn season. The objective of the study was to characterize the structural heterogeneity and botanical composition of the natural grassland subjected to different grazing managements, relating these factors to the individual animal response obtained. For a better interpretation of the results, the area was classified into three zones - Lowland, Mid-slope, and Lithosol - corresponding to contrasting soil types, according to cartography and visual field estimation. The variables determined were forage height (cm), forage mass present (kg DM/ha), botanical composition, and average daily gains of the animals (kg LW/d). For the analysis of the results, the statistical software InfoStat was used, applying multivariate and univariate descriptive techniques (ANOVA), and the test of homogeneity of variances (Levene's Test); subsequently performing mean comparison tests using Tukey's test with a significance level of 10%. The results showed that the pasture structure (height) was conditioned by the grazing method and the zone, more than by the forage allowance level; with greater heights in the Rotational method, and according to the zone, in both grazing methods, in descending order from Lowland, Mid-slope, and Lithosol. Structural heterogeneity was conditioned by the forage supply level, and secondly, by the studied zone; with greater heterogeneity at High forage allowance levels, and in the same descending order from Lowland, Mid-slope, and Lithosol. The botanical composition was primarily defined by the studied zone, with independent responses according to the grazing method and forage allowance level; observing contrasting sets in vegetative and productive types, according to these latter two factors. The average daily gains of the animals did not show significant differences according to the applied treatments.

*Keywords:* grazing methods, pasture structure, forage height, botanical composition, animal performance, multivariate analysis, Levene's Test

## 1. INTRODUCCIÓN

El campo natural es la base en la cual se sustenta la actividad ganadera del Uruguay, representando 11,6 millones de hectáreas (80,9%) de la superficie total de pastoreo (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2022).

Las pasturas naturales en Uruguay, dada su productividad y calidad, junto con manejos inadecuados del pastoreo - altas cargas y relaciones lanar/vacuno - han limitado la productividad de los sistemas ganaderos, por restricciones nutricionales y/o degradación del recurso natural (Berretta, 2000).

La gran problemática de la ganadería a nivel nacional se encuentra en la baja productividad, caracterizado por su amplia brecha tecnológica. Al comparar la productividad de carne bovina por superficie de pastoreo, desde 2011 a 2017, el promedio anual ha oscilado entre 70 – 81 kg/ha, constatando una amplia distribución y heterogeneidad geográfica en desempeños productivos, con una diferencia de 65 kg/ha entre los percentiles 75 y 25 (Aguirre, 2018). La brecha productiva del rubro podría representar la más importante de todo el sector agropecuario (Oyhantçabal et al., 2019).

En los últimos años, para levantar estas limitantes, se han reeditado manejos del pastoreo no tradicionales, que plantean incrementos en la productividad y utilización del forraje, mediante pastoreos rotativos que varían en tiempos de ocupación y descansos, como una adopción tecnológica de bajo uso de insumos que mejoraría los indicadores productivos de los sistemas. En este marco, se plantea la necesidad de realizar aportes desde la investigación (v).

El manejo del pastoreo desempeña un rol clave para optimizar la producción, siendo las variables manejables: el control de la intensidad y frecuencia de pastoreo (Heitschmidt & Walker, 1983; Nabinger, 1999).

La estructura de la pastura consecuente por el efecto del manejo, entendida como la disposición espacial de la biomasa aérea, es determinante de la dinámica del crecimiento de las plantas y competencia en las comunidades vegetales, así como también, del desempeño del animal en pastoreo (Carvalho et al., 2001; Laca & Lemaire, 2000).

Si bien existen antecedentes nacionales e internacionales en evaluación del efecto del método de pastoreo a cargas fijas (Berretta, 2005; Briske et al., 2008; De Souza et al., 1989; Formoso, 2005; Sollenberger et al., 2012), y del efecto de ajuste de carga mediante el concepto de oferta de forraje (Aguinaga et al., 2004; Mezzalira et al., 2012; Nabinger, 1999), no se relevan contribuciones en nuestras condiciones que evalúen la interacción, lo que plantea un desafío y oportunidad de investigación en un área que no ha sido completamente explorada.

### 1.1. OBJETIVO GENERAL

Describir las características de la pastura y la respuesta animal obtenida en un campo natural sometido a dos métodos de pastoreo y dos niveles de oferta de forraje.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir el efecto del método de pastoreo y el nivel de oferta de forraje sobre la estructura de la pastura y la heterogeneidad espacial.

Describir el efecto del método de pastoreo y el nivel de oferta de forraje sobre la composición botánica de la masa de forraje disponible.

Relacionar las características de la pastura (estructura y composición botánica) con la respuesta animal obtenida.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CAMPO NATURAL EN URUGUAY

#### 2.1.1. Generalidades del campo natural

El campo natural se define como una cubierta vegetal compuesto por gramíneas, plantas herbáceas y sub-arbustivas, donde los árboles y arbustos son raros (Berretta & Do Nascimento, 1991). Esta cubierta vegetal, aparentemente homogénea, es variable en estructura y composición florística (Rosengurtt et al., 1939) según sea el material geológico, determinante de distintos suelos que se diferencian en textura y profundidad (Berretta, 2000).

En consecuencia, las pasturas naturales son un complejo mosaico constituido por muchas especies que cambian sus frecuencias y hábitos fisiológicos y ecológicos, adaptándose a las condiciones cambiantes del material geológico, suelo y topografía, bajo el efecto del manejo del pastoreo. Se componen por comunidades vegetales con predominio de especies de gramíneas de bajo y mediano porte, dicotiledóneas integradas por compuestas, leguminosas, y otras familias en menor frecuencia, así como otras especies graminoides como ciperáceas y juncáceas (Millot et al., 1987).

El estudio de las comunidades vegetales se facilita mediante la agrupación de las especies según su tipo vegetativo, ciclo de producción, y principalmente, tipo productivo, de acuerdo con los criterios desarrollados por el Prof. Bernardo Rosengurtt, que involucran: ciclo anual, tipo vegetativo, tipo de campo donde se desarrollan, y otros datos, así como la variabilidad en su apetecibilidad según la época del año (Rosengurtt, 1979). Esta clasificación permite, según Rosengurtt (1979), suplir la ausencia de datos precisos del valor nutritivo de las especies forrajeras nativas, y facilitar las decisiones de manejo presente o futuro del tapiz, así como decisiones diarias de ajuste de carga y categorías a cada situación de tapiz natural.

Las comunidades vegetales presentan una gran variación en cuanto a densidad, composición botánica y productividad, haciendo que la producción anual de forraje se distribuya en un amplio rango, y con diferencias en distribución estacional. En suelos superficiales o de baja productividad, la producción promedio anual se encuentra alrededor de 2500 kg MS/ha/año, en suelos medios aumenta a 3500 kg MS/ha/año, y en profundos de alta fertilidad o arenosos puede superar los 5000 kg MS/ha/año. En campos con predominio de especies duras, como pajonales, la producción puede superar estos valores, pero al ser poco palatables, los animales sólo las consumen en situaciones de déficit de forraje extremas. La producción anual, para la mayoría de las comunidades, se concentra en primavera y verano, siendo de 80–85% en campos arenosos, y de 60–70% en otros tipos de campos. El aporte invernal varía entre 6 – 7% en suelos arenosos, y 10 – 15% en otros tipos de campos (Berretta, 2000).

### 2.1.2. Importancia del campo natural

Los pastizales del Río de la Plata conforman la unidad biogeográfica de pasturas naturales más extensa de América, y una de las más importantes del mundo, ocupando un 70% del área entre el este de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (Soriano; Pallares et al., como se cita en Carvalho et al., 2008). La ganadería vacuna y ovina, principales actividades económicas de la región, se sustentan sobre esta base forrajera (DIEA, 2022).

En Uruguay, la exportación de carne representa el 25,9% del total del sector agropecuario (DIEA, 2022), siendo este último, responsable del 6% del PBI nacional; bajo en representatividad, pero con consecuencias indirectas en el resto de la economía (Dirección Nacional de Energía [DNE], 2022).

En las últimas décadas, se ha comenzado a tomar conciencia de los riesgos de los efectos de la explotación desmedida de los recursos naturales y sus consecuencias sobre el ambiente y la calidad de vida en el planeta. En el caso de las pasturas naturales, su conservación depende de la agregación del valor de otros servicios prestados que normalmente no son considerados (Nabinger & Carvalho, 2009). Además de su rol principal como fuente de alimento para los herbívoros domésticos, las pasturas naturales cumplen otras funciones como la conservación de la biodiversidad, el control de los flujos de nutrientes, el balance de gases efecto invernadero, la calidad de las aguas, la manutención del paisaje etc., - tan o más importantes que la producción de carne, leche o lana - siendo posibles de ser afectadas por el pastoreo (Nabinger et al., 2011).

Los servicios ecosistémicos no son aún valorados, quedando como remuneración al productor únicamente la renta originada de los productos animales. Este abordaje equivocado por parte de la investigación recientemente ha adoptado una postura más analítica y explicativa de los procesos conducentes a la producción de forraje y al comportamiento de los animales en pastoreo, los efectos ambientales, la calidad y seguridad de los alimentos producidos, en sustitución al abordaje tradicionalmente productivista (Nabinger & Carvalho, 2009; Nabinger et al., 2011).

En nuestro país, además de su importancia económica, el campo natural es un patrimonio ecológico, es diverso y estable para producir, con lo cual constituye un sello distintivo para Uruguay, además cumple con la demanda creciente de este requisito por parte de la población mundial. Así pues, surge la necesidad abordar aspectos que hacen a la conservación y manejo del campo natural (INIA Uruguay, 2022).

Según Boggiano (2015), el incremento en la productividad de las pasturas naturales es una vía para favorecer su conservación, de forma de hacerlas más competitivas productivamente frente a las alternativas que lo sustituyen, y así resaltar su valor como recurso acondicionador de la conservación de la calidad del ambiente y la biodiversidad.

## 2.2. SISTEMAS PASTORILES

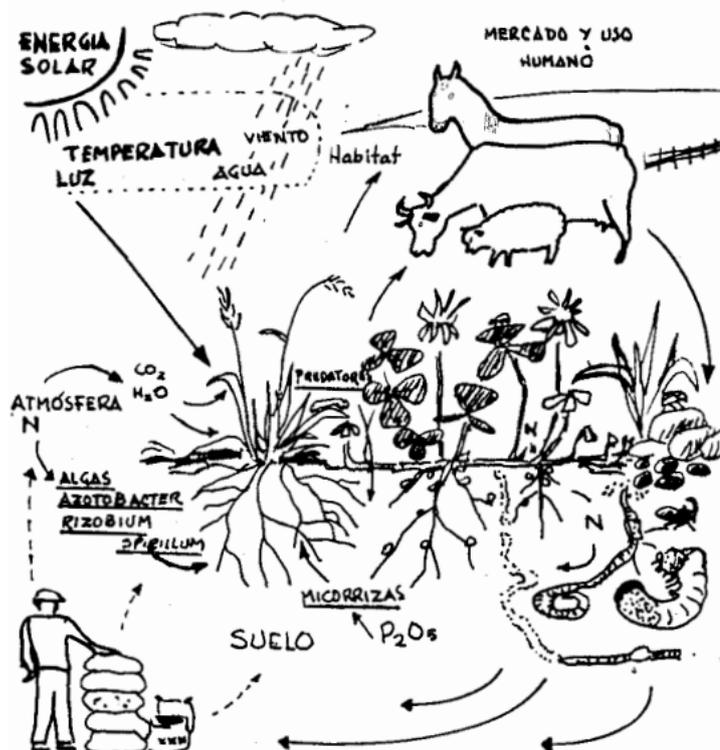
### 2.2.1. Ecosistema pastoril

La producción animal sobre pasturas implica la intervención del hombre, utilizando conocimientos que permitan: garantizar la perdurabilidad del sistema, asegurar ajuste entre la oferta en cantidad y calidad con la producción animal esperable, y simplificar o reducir costos. Para cumplir con estos objetivos, la pastura debe ser entendida como un ecosistema formado por componentes bióticos y abióticos, que de cuyo equilibrio depende la sustentabilidad (Nabinger, 1999).

Los sistemas de producción sobre campo natural, ecosistemas pratenses bajo el efecto del pastoreo (Figura 1), se conforman por diferentes componentes interrelacionados entre sí: clima (temperatura, luz, agua y viento), suelo, vegetación, mesofauna y microorganismos del suelo, y seres heterótrofos. Las relaciones energéticas en este ecosistema determinan entradas de recursos abióticos provenientes de la energía solar, atmósfera y suelo, las cuales son utilizadas por recursos bióticos – plantas, micro, meso y macroorganismos – para generar la fuente alimenticia de herbívoros, constituyendo las salidas del sistema de producción: carne, lana, leche, etc. (Millot et al., 1987).

**Figura 1**

*Estructura básica y ciclo energético en el ecosistema pratense*



*Nota.* Tomado de Millot et al. (1987).

La cadena trófica en ecosistemas pastoriles se representa sólo por dos niveles (autótrofos y heterótrofos), con ineficiencias en el flujo de energía en cada nivel y en cada pasaje considerables (Briske & Heitschmidt, 1991; Nabinger, 1999). Dentro de las primeras, se comprende la ineficiencia en la utilización de la energía solar disponible, ya sea por superficie foliar limitada para la captación o por recursos del medio limitantes en el proceso de fotosíntesis (agua, temperatura o nutrientes). Las segundas ineficiencias ocurren durante el proceso de captación de la productividad primaria a través del pastoreo, mediante la selectividad de los animales sobre grupos o partes de plantas, pisoteo y acumulación de deyecciones, y principalmente, debido a la inaccesibilidad de la mayor proporción de la producción primaria, que se encuentra en forma de raíces, estolones, etc. El pasaje de un nivel a otro genera salidas de energía en forma de gases, orina y heces. En este nivel, el segundo componente biótico del ecosistema (hongos y bacterias) mantiene un rol reciclador en el sistema, utilizando la materia orgánica perdida desde otros niveles como fuente de energía (Nabinger, 1999).

Briske y Heitschmidt (1991) resaltan las principales limitantes que determinan las ineficiencias en el flujo de energía en los sistemas pastoriles:

- 1) Ineficiencia en la captura de radiación solar para la producción primaria, representando menos del 1% anual.
- 2) Ineficiencia en la utilización de la producción primaria por los animales en pastoreo, consumiendo menos del 20% de la producción anual.
- 3) Ineficiencia en la conversión de la energía consumida en producción secundaria, siendo un 10% del consumo anual.

La comprensión del funcionamiento del ecosistema y sus componentes, así como el hecho de estar bajo decisiones de manejo por el hombre, permite dar una idea de cómo manejarlo y modificar algunos factores que afectan el equilibrio en función de los objetivos esperados (Milot et al., 1987).

El dilema ecológico que presenta el manejo de sistemas pastoriles es la incapacidad de optimizar simultáneamente la interceptación y conversión de la energía solar en producción primaria y secundaria. De aquí que la gestión de los sistemas debe atender estas limitantes, trabajar en reducir estas ineficiencias, en lugar de intentar superarlas o eludirlas (Briske & Heitschmidt, 1991).

### 2.2.2. Relación suelo – clima – planta – animal

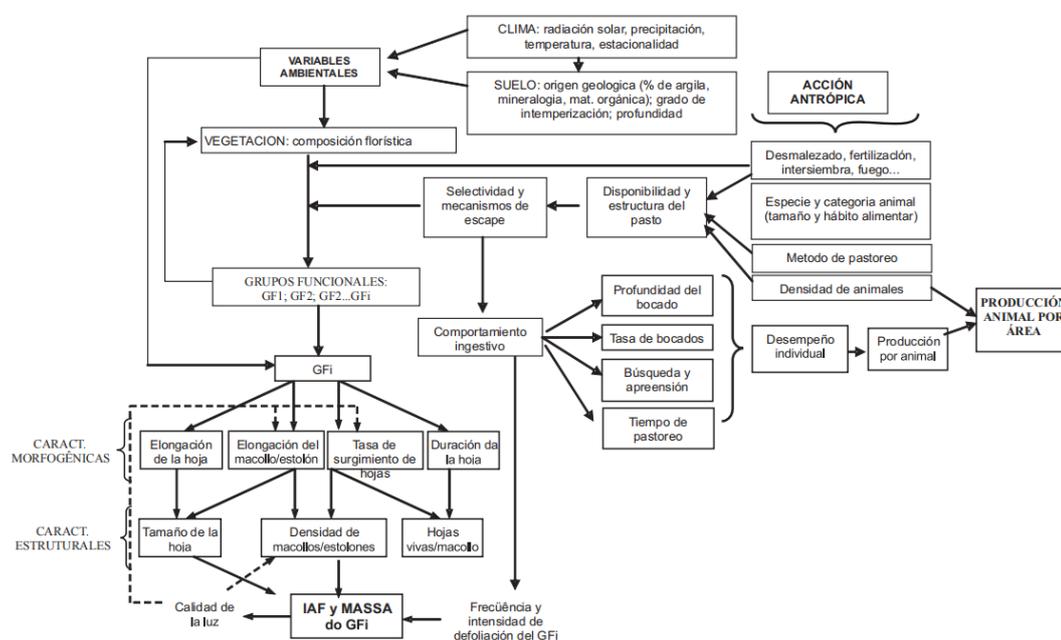
El diseño de sistemas de producción de alta eficiencia requiere la comprensión de la dinámica del proceso de crecimiento del forraje (Chapman & Lemaire, 1993), determinados genéticamente y regulados por factores del ambiente (Colabelli et al., 1998).

El proceso de producción de forraje (Nabinger, 1999) y el efecto de la estructura de la pastura sobre el proceso de cosecha de forraje en pastoreo (Carvalho et al., 2009), constituyen factores clave para la comprensión de la interacción suelo – clima – planta – animal, y sus relaciones causa – efecto (Nabinger & Carvalho, 2009).

El modelo conceptual (Figura 2) propuesto por Nabinger y Carvalho (2009) basado en las propuestas de Lemaire y Chapman (1996), Cruz y Boval (2000) y Freitas (2003), contribuye a la comprensión de estas relaciones dentro del ecosistema pastoril sobre pasturas naturales, complejizado dada la diversidad muy elevada de especies.

**Figura 2**

*Modelo conceptual de funcionamiento del ecosistema pastoril natural*



*Nota.* Tomado de Nabinger y Carvalho (2009).

El manejo del pastoreo a través de las decisiones de las especies y categorías animales, densidad de animales, y el método de pastoreo, establece el efecto de la herbivoría sobre las interrelaciones en el ecosistema pastoril. El método de pastoreo determina la distribución espacio – temporal de los animales en una pastura, influyendo directamente en la frecuencia e intensidad de defoliación. La modificación en la disponibilidad y estructura de las pasturas interacciona con el tipo de vegetación a través de la selectividad animal y tolerancia al pastoreo de las especies, determinando menores o mayores alteraciones en la composición florística, imposible de cuantificar individualmente sino a través de la agrupación de especies con características comunes de respuesta (morfogénicas, estructurales, fisiológicas y ecológicas) designados como Grupos Funcionales (GF). Las interacciones entre las variables morfogenéticas atribuibles a cada GF y las

variables ambientales resultan en cambios sustanciales en el índice de área foliar (IAF) y la masa de forraje. La productividad de las pasturas va a estar afectada, así como la productividad animal al haber un impacto en la cantidad y calidad de la dieta disponible. El comportamiento animal en pastoreo, junto a las características de las pasturas y densidad de animales presente, va a determinar la productividad animal individual y por área (Nabinger & Carvalho, 2009).

## 2.3. MANEJO DEL PASTOREO

### 2.3.1. Introducción

El manejo de las pasturas naturales, según Berretta y Do Nascimento (1991), consiste en "la ciencia y el arte de la planificación y dirección del uso múltiple de la pastura para obtener una producción animal económicamente sostenible, compatible con la conservación y/o mejoramiento en los recursos naturales relacionados" (p. 66). Es la manipulación del complejo suelo – planta – animal, a nivel del espacio y tiempo, en la búsqueda de un resultado esperado (Allen et al., 2001; Berretta & Do Nascimento, 1991).

El objetivo principal del manejo del pastoreo debe ser el control de los factores que hacen a la productividad de las pasturas: cantidad y calidad del forraje producido, y eficiencia de cosecha de este forraje (Heitschmidt et al., 1982). La utilización de las pasturas va a ser variable según la frecuencia entre pastoreos, el tiempo de ocupación de los animales en una misma área y la intensidad con la que se remueve la parte aérea (Nabinger, 1999). De esta manera, las decisiones a tomar para que sean rentables requieren conocimientos sobre los tipos de pasturas, interacción planta – animal, carga y respuesta animal deseable según el mercado (Brizuela & Cibils, 2011).

El objetivo de manejo de la vegetación debe tener al menos igual prioridad que el objetivo del manejo del ganado en un sistema pastoril, siendo imprescindible para alcanzarlos, el control de la frecuencia de bocados sobre cada planta mediante ajustes estacionales de la carga animal aplicada (Brizuela & Cibils, 2011).

El pastoreo continuo (PC) y el pastoreo rotativo (PR), constituyen los métodos más contrastantes en cuanto a la conducción de los animales en pastoreo, bajo sus diferentes modalidades (Brizuela & Cibils, 2011). En cualquier método, la presión de pastoreo (intensidad y selectividad) es el factor determinante de la productividad de las pasturas, al establecer cuánto de la superficie de hojas, y por lo tanto, de la superficie de captación de la energía solar, es removida; no obstante, el propio método, dadas las diferencias en cuanto a la distribución de los animales en pastoreo, determina un comportamiento diferencial de las pasturas en lo que refiere a su estructura con implicancias en el crecimiento (Nabinger, 1999).

La frecuencia e intensidad de defoliación dependen de la carga animal instantánea y duración del período de pastoreo, como fue mencionado, variable según el método (Gregorini et al., 2007). Así como también, la disponibilidad de forraje, que puede influir aún más que la carga animal, sobre los procesos de frecuencia y severidad de defoliación (Rendón, 1968).

### 2.3.2. Decisiones en el manejo del pastoreo

#### 2.3.2.1. Intensidad

La intensidad de pastoreo, según Harris (1978), refiere a la proporción del material que es removido durante la defoliación. El grado de defoliación se atribuye a la relación entre la cantidad de forraje removido y la cantidad original de forraje disponible (Berretta & do Nascimento, 1991). Heitschmidt y Taylor (1991) sostienen que es el factor que más afecta la cantidad y calidad del forraje disponible, siendo la carga animal su principal determinante.

Por lo general, aumentos en la carga animal tiene efectos en el forraje disponible en el corto y largo plazo. En el corto plazo, el forraje disponible puede verse limitado dado que, ante altas intensidades de utilización, el consumo excede la acumulación de forraje; en tanto, la calidad del forraje aumenta dada la remoción de material senescente de baja calidad y el rebrote posterior. En el largo plazo, el forraje disponible en cantidad y calidad va a ser resultado de los efectos de los factores bióticos y abióticos sobre el crecimiento y procesos de sucesión de las plantas, es decir, cambios en la composición de especies. De aquí se resalta la intensidad de pastoreo como factor principal que afecta la dirección, magnitud y rango en los cambios en las comunidades vegetales en ecosistemas pastoriles (Heitschmidt et al., como se cita en Heitschmidt & Taylor, 1991).

Según Nabinger y Carvalho (2009), la intensidad también es la principal determinante de las variables morfogénicas que caracterizan el tamaño de la hoja y la densidad de macollos, por ende, el IAF promedio del tapiz vegetal. De esta manera, cuanto mayor es la presión de pastoreo (intensidad y selectividad), la estructura de la pastura limita el proceso de cosecha e ingestión del forraje. El comportamiento en pastoreo de los animales se ve afectado por esta variable, determinando el estado nutricional de los mismos. Las intensidades de pastoreo elevadas junto a estructuras del forraje bajas incrementan el tiempo de pastoreo de los animales, los cuales realizan menor número de comidas, pero de mayor duración. De manera contraria, intensidades bajas de pastoreo también pueden restringir la ingesta diaria al aumentar el tiempo de manipulación del forraje en detrimento de la velocidad de ingestión debido a que la estructura de la pastura se presenta muy alta y con elevada dispersión de hojas en la parte superior.

Partiendo de una base fisiológica, Parsons et al. (1983) analizan las mayores limitantes en productividad en sistemas bajo pastoreo continuo. Según los autores,

altas producciones de forraje no deben asociarse a altas eficiencias de cosecha o utilización del forraje. Al aumentar la intensidad de pastoreo, la pastura se mantiene en valores de IAF bajos, y aumenta el consumo por animal ante la mayor cosecha del forraje producido. Sin embargo, el incremento en la eficiencia de cosecha se da a expensas de la fotosíntesis bruta y, por ende, la cantidad de forraje producido es cada vez menor. A IAF muy bajos, la reducción en la producción de forraje resulta en un perjuicio mayor frente a las mejoras en la eficiencia de cosecha y consumo animal. De cualquier forma, la cantidad máxima de forraje posible de cosechar se alcanza en pasturas mantenidas en valores de IAF inferiores al óptimo para la fotosíntesis.

#### 2.3.2.2. Frecuencia

La frecuencia consiste en el número de defoliaciones por unidad de tiempo de un área de tapiz vegetal o de unidades de plantas individuales, siendo el intervalo de defoliación, el tiempo transcurrido entre defoliaciones sucesivas (Berretta & do Nascimento, 1991).

Esta frecuencia no necesariamente presenta diferencias relacionadas al método de pastoreo, ya que ambos métodos (continuo o rotativo) bien manejados consisten en sistemas de defoliación intermitentes (Brizuela & Cibils, 2011). La diferencia entre métodos de pastoreo se encuentra en quién toma la decisión en los períodos de descanso de las pasturas. En pastoreos rotativos, el hombre controla la duración de los períodos de descanso y ocupación de las áreas, a diferencia de pastoreos continuos, donde el decisor es el animal en pastoreo, dependiendo de la carga aplicada (Sollenberger et al., 2009).

En general, la frecuencia puede presentar interacción con la intensidad y selectividad, defoliaciones frecuentes resultan en intensidades más severas (Vallentine, 1990). Por otro lado, según Rendón (1968), la disponibilidad de forraje afecta la frecuencia de defoliación, con tendencias al aumento en la frecuencia a medida que la disponibilidad es menor y viceversa.

#### 2.3.2.3. Implicancias del manejo a través de la carga animal

La carga animal se define como la relación entre el número de animales y la unidad específica de área que es pastoreada (Allen et al., 2001), prescindiendo de la cantidad de forraje (Brizuela & Cibils, 2011). Ésta es la principal variable que condiciona la producción secundaria y afecta la producción primaria (Berretta, 2005).

La capacidad de carga se define como la máxima dotación posible en una pastura sin inducir daños en la vegetación o recursos relacionados, pudiendo variar

año a año en un mismo lugar dadas las fluctuaciones en la producción de forraje (Berretta & do Nascimento, 1991). En adición, según Laca (2011), las diferentes especies y categorías animales tienen requerimientos distintos en calidad y cantidad de forraje, por lo que la heterogeneidad característica de las pasturas determina que tengan capacidades de carga diferentes según los animales que la pastoreen. Según Formoso (2005), a medida que las pasturas se acercan a la máxima capacidad de carga, se vuelven más sensibles a los factores climáticos y aumenta el riesgo en los procesos productivos dadas las exigencias nutricionales de los animales.

Hodgson (1990) considera que el concepto "carga" tiene limitantes como índice de medición al no considerar la productividad potencial de la pastura o el consumo potencial de forraje por los animales. De esta manera, es necesario darle mayor precisión, considerando el crecimiento estacional de las pasturas y particularmente, caracterizando la cantidad y categorías animales en pastoreo que difieren en sus requerimientos (Brizuela & Cibils, 2011).

Heitschmidt y Taylor (1991) plantean que independientemente del valor de carga que maximiza la producción por unidad de área, el problema básico en el manejo del pastoreo radica en que las relaciones entre carga y producción animal son extremadamente complejas y variables en cualquier sistema dadas las ganancias animales variables a lo largo del tiempo y espacio. Estas variaciones son el resultado primario de la variabilidad en la cantidad y calidad del forraje disponible, consecuencia del efecto de los factores incontrolables (componentes abióticos) y factores controlables (componentes bióticos) del sistema pastoril.

Por su parte, la presión de pastoreo sí da una idea de la intensidad de pastoreo, ya que es establecida por la relación entre el número de animales y la disponibilidad de forraje por unidad de superficie (Brizuela & Cibils, 2011).

### 2.3.3. Oferta de forraje

La oferta de forraje (OF) es la relación entre la cantidad de forraje disponible (sobre base de materia seca, en kg MS) y el peso animal (sobre unidad de peso vivo, en kg PV). Es un concepto análogo pero inverso a la "presión de pastoreo", que corresponde a la cantidad de animales presente sobre la disponibilidad de forraje (Wallau et al., 2019). De esta manera, se evidencia que el ajuste de la carga pasa a ser el medio para controlar la OF.

La disponibilidad de forraje es la cantidad de MS presente en un área y en un determinado momento, y ésta puede estar dispuesta en diversas combinaciones de altura y densidad. La OF se define a partir de la disponibilidad de forraje (kg MS) que es ofrecida por animal, por cada 100 kg PV, en determinado período de tiempo (Heringer & Carvalho, 2002). Puede expresarse de diferentes formas: por día, como proporción del peso vivo y ajustada a un período de tiempo (por ejemplo,

un mes), o instantánea, donde la variable tiempo no es considerada (Wallau et al., 2019).

La presión de pastoreo sobre una pastura va a afectar tanto la producción de forraje, composición botánica y persistencia de la pastura, condicionando diferentes ganancias por animal y por área, dadas las diferencias en calidad del forraje y a la selectividad en el proceso de pastoreo. A su vez, determina el producto animal por día o por área bajo cualquier método de pastoreo, rotativo o continuo, según sea la disponibilidad de forraje y oportunidad de seleccionar. En general, altas disponibilidades y selectividad otorgan mayores salidas en producto animal (Bryant et al., 1970).

#### 2.3.4. Estructura de la pastura y desempeño animal

La interacción entre la estructura de la pastura y el comportamiento de los bovinos en pastoreo permite explicar y cuantificar el consumo de forraje diario, determinando las relaciones causa – efecto en la interfase planta – animal (Galli & Cangiano, 1998).

Las pasturas (tanto cultivadas como nativas) se caracterizan por su heterogeneidad horizontal y vertical variando en las tres dimensiones del espacio, explicado por el proceso de pastoreo, la topografía y heterogeneidad edáfica. Esto dificulta el manejo, pero es necesario para el funcionamiento del ecosistema y permitir a los animales una selección de la dieta diferente a la ofrecida (Laca, 2011).

La estructura se define como la disposición espacial de la biomasa aérea en una comunidad vegetal (Pinto et al., 2019). Los principales parámetros que la caracterizan son: altura, densidad y distribución espacial de plantas o partes de ellas (Carámbula, 2008). Descripción que puede realizarse de forma bidimensional, como la masa de forraje presente (kg MS/ha), o tridimensional, como disposición espacial, altura y composición botánica. Es importante comprender cómo se presenta el forraje al animal en pastoreo, y cómo debe ser manejado para generar estructuras que optimicen el consumo (Pinto et al., 2019).

El campo natural, caracterizado por la gran heterogeneidad de sus estructuras, posibilita identificar al menos dos estratos en la vegetación: estrato bajo - preferentemente pastoreado por los animales -, compuesto por especies postradas, que presentan crecimiento rápido, mejor valor nutritivo y resistencia al pastoreo, y un estrato alto, compuesto por matas, especies cespitosas, de crecimiento lento y mayor acumulación de material muerto, que dificultan el proceso de pastoreo, alterando la velocidad de desplazamiento y la selectividad. También, podría ser identificado un tercer estrato, compuesto por especies sub-arbustivas, tóxicas o malezas de campo sucio (Pinto et al., 2019).

La estructura de la pastura en cada sitio determina el peso y volumen del bocado, y el bocado a su vez, modifica las características de la pastura en el sitio.

La disponibilidad de forraje junto a la abundancia y distancia entre sitios de alimentación (área donde el animal puede alimentarse sin necesidad de trasladarse), definen el patrón de selección y utilización de la pastura (Bailey & Provenza, 2008; Galli & Cangiano, 1998). La frecuencia e intensidad de defoliación determinan el efecto del pastoreo sobre las plantas, y así mismo, las dimensiones de cada bocado determinan la respuesta de las plantas ante las características del remanente (Galli & Cangiano, 1998).

La selectividad es la remoción de algunos componentes de la pastura o una muestra de forraje en lugar de otros, siendo una función de preferencia modificada por la oportunidad de seleccionar (Berretta & do Nascimento, 1991). Se encuentra determinada por las posiciones relativas de los componentes preferidos del tapiz vegetal y su distribución dentro del canopeo (Gibb, como se cita en Gregorini et al., 2007). La utilización de las distintas comunidades vegetales es diferente dentro de una misma área dada la preferencia de los animales por ciertos tipos de vegetación influyendo en la productividad animal (Chapman et al., 2007). Las zonas más frecuentadas son aquellas donde el forraje se presenta con mayor calidad y pueden cubrir los requerimientos nutricionales de los animales (McNaughton, como se cita en Berretta, 1995).

En cuanto a la intensidad de pastoreo, Ring II et al. (1985) demostraron, en pasturas naturales, la formación de una dinámica de parches generados por condiciones de sub y sobre – pastoreo, relacionados directamente con la carga animal o presión de pastoreo, generando a su vez, diferencias en la composición botánica. Cid y Brizuela (1998) reforzaron la idea de que el animal obtiene beneficios en su dieta por el pastoreo en parches o manchones y, además, que en áreas intensamente utilizadas la selectividad animal se encuentra determinada por la presencia de heces y/o arbustos. En este sentido, los atributos estructurales de la pastura (altura, masa de forraje, composición botánica y concentración de nutrientes) no sólo determinan la cantidad de nutrientes a consumir, sino que también la distribución espacial de la heterogeneidad del forraje a nivel horizontal puede tener un rol en la dieta cosechada; siendo esperable que, frente a distribuciones espaciales que limiten la tasa de consumo, el animal compense con una reducción en la selectividad (Laca, 2011).

La altura de la pastura es el indicador más útil para los propósitos de manejo, siendo la variable más simple para predecir la respuesta tanto de la pastura como el animal (Hodgson & Grant como se cita en Hodgson, 1985). En pastoreo continuo, esto es firme y estable, las características como área foliar, densidad de hojas y estructura del tapiz se relacionan directamente con la altura. En pastoreo rotativo, hay menos certeza ya que las fluctuaciones en dichas variables son mayores y, por lo tanto, la altura sólo puede usarse como una primera aproximación (Baker et al., como se cita en Hodgson, 1985).

Gonçalves et al. (2009) concluyeron, a partir del efecto de las alturas del forraje en campo natural, la influencia de la heterogeneidad en altura y densidad

sobre los patrones de defoliación y selección de las dietas. El aumento en la altura implicó menor facilidad de aprehensión de las láminas foliares y dificultó encontrar láminas en expansión, dada la menor densidad hacia estratos superiores; y en alturas extremadamente bajas, se presentó una mejor distribución de láminas con oportunidad de ser seleccionadas, pero dificultando la formación del bocado.

En concreto, según Laca (2011), la heterogeneidad afecta el comportamiento animal, así como los herbívoros generan y mantienen la heterogeneidad en los ecosistemas pastoriles. El manejo de las pasturas implica visualizarlas como mosaicos dinámicos de especies y unidades de funcionamiento, agregando sobre éste la variabilidad espacial y temporal creada por los animales.

Desde una visión productivista, la heterogeneidad (mosaico de "parches") suele considerarse negativa al asociarse a reducciones en la eficiencia de producción y uso del forraje. Sin embargo, el efecto del pastoreo puede ser una herramienta para mantener la biodiversidad en los ecosistemas pastoriles, al generar condiciones que permiten la sobrevivencia de especies que en otras condiciones se eliminarían por sucesión o competencia (Laca, 2011).

Pinto et al. (2019) destacan que la heterogeneidad determina un ambiente pastoril más diverso, más resiliente, con mayor oportunidad de selección y con especies que se complementan, produciendo forraje en distintas épocas del año y resistiendo a los extremos climáticos.

### 2.3.5. Métodos de pastoreo

Los métodos de pastoreo, en sus diversas variantes, tienen como objetivo común el control del pastoreo manipulando espacial y temporalmente a los animales para hacer un uso "eficiente" del recurso forrajero (Carvalho et al., 2019).

La implementación de diferentes métodos de pastoreo implica cambios en el control de la frecuencia de defoliación. El manejo debe considerar mantener reservas en las plantas en niveles aceptables, mediante períodos de descanso adecuados, a fin de no comprometer el sistema radicular, lograr recuperación del área foliar, y rebrotes más rápidos, incrementando la producción (Carámbula, 1977; Holechek et al., 1989).

A modo de simplificar, realizando una comparación interpretativa, los métodos de pastoreo se pueden caracterizar y diferenciar según la oportunidad generada para la selección de las dietas, la eficiencia de cosecha, el consumo individual y el consumo por unidad de área (Carvalho et al., 2019).

**Tabla 1**

*Interpretación de las características y objetivos de los métodos de pastoreo Continuo y Rotativo*

	Selección de dieta	Eficiencia de cosecha	Consumo individual	Consumo por unidad de área
Pastoreo Continuo	Sí	No	Sí	No
Pastoreo Rotativo	No	Sí	No	Sí

*Nota.* Adaptado de Carvalho et al. (2019).

Según lo presentado (Tabla 1), los métodos de pastoreo rotativos, a diferencia de los continuos, no trabajan para seleccionar dietas, sino para aumentar la eficiencia de cosecha (Carvalho et al., 2019). Dentro de sus objetivos, pretenden aumentar la productividad animal, mediante reducciones en la selectividad al aumentar la cantidad de animales por unidad de área (Briske et al., 2008). Por lo tanto, inmersos en una visión de "aprovechamiento" o "uso eficiente del recurso forrajero", trabajan hacia la maximización del consumo por unidad de área frente al consumo individual (Carvalho et al., 2019).

La decisión del método de pastoreo a utilizar debería basarse en las características de las pasturas, requerimientos animales, costos asociados a la adopción de un método particular y probabilidad de retorno de la inversión (Sollenberger et al., 2009).

#### 2.3.5.1. Pastoreo continuo

El pastoreo continuo refiere al pastoreo de una unidad específica por animales a través del año o durante un período en el cual es factible, no necesariamente siendo sinónimo de "pastoreo durante todo el año" (Berretta & Do Nascimento, 1991). Los animales en pastoreo son los que definen la frecuencia e intensidad con la que una planta o área de la pastura es defoliada (Sollenberger et al., 2009).

El área permanece todo el año o parte de éste con animales, siendo el intervalo entre pastoreos, es decir, el tiempo de descanso, cero; lo que no implica que todas las plantas sean pastoreadas continuamente. La frecuencia de defoliación de una planta depende de la carga animal, las características de la planta, tasa de crecimiento estacional de la pastura, y el tipo y categoría animal utilizada (Brizuela & Cibils, 2011; Nabinger, 1999). De ahí que, según Hodgson (1979), el término "carga continua" es preferible como descriptor cuando los animales se mantienen continuamente en una misma área.

En pastoreo continuo, la carga animal se relaciona inversamente a la altura de la pastura. La disminución de la carga, pastoreos más laxos, determina utilización baja del forraje y consumo animal más selectivo; y así, detrimento en la

proporción de lámina verde frente a mayor acumulación de material senescente, siendo de cualquier forma el efecto de la digestibilidad del material consumido dependiente de la oportunidad de selección dada a los animales (Hodgson, 1990). Por ende, a bajas intensidades, los animales pueden consumir forraje de alta calidad al seleccionar los horizontes superiores de la pastura, es decir, mayor proporción del componente de láminas (Bryant et al., 1970).

Brizuela y Cibils (2011) plantean tres situaciones asociadas a diferentes cargas y sus consecuencias asociadas. El uso de una carga fija podría determinar períodos de excesos de forraje pudiendo presentarse de manera muy heterogénea en el potrero, disminuyendo la eficiencia de cosecha y el valor nutritivo del forraje. El uso de cargas bajas podría implicar una subutilización del forraje, pero también maximizar el pastoreo selectivo y la respuesta animal. El uso de cargas variables parecería la alternativa más adecuada para reducir la severidad del sub o sobre pastoreo.

La productividad animal alcanzable puede ser tan buena o mejor que en pastoreos rotativos; atribuible a los menores cambios en la calidad del forraje, en la oportunidad de selección dada a los animales, y la baja perturbación sobre el proceso de pastoreo. Sin embargo, puede ser perjudicial dadas las indebidas intensidades o frecuencia de pastoreo sobre algunas plantas, poniendo a estas especies en desventaja frente a la competencia, y pudiendo causar cambios no deseables en la vegetación (Heady, como se cita en Vallentine, 1990). Por consiguiente, el pastoreo continuo se ha catalogado, frecuentemente, como perjudicial para la vegetación. Sin embargo, es destacable que las causas del deterioro de las pasturas bajo esta modalidad han sido debidas a pastoreos intensos o a una mala distribución del pastoreo (Martin & Cable, como se cita en Vallentine, 1990). El mayor problema es la preferencia por áreas de pastoreo, que suelen ser las zonas más productivas de la pastura, o alrededores al agua o sombra (Holechek et al., 1989).

Con relación a las ventajas del método, es posible destacar: menores costos de insumos para su implementación, y menor número de decisiones de manejo, lo que simplifica la conducción (Brizuela & Cibils, 2011; Sollenberger et al., 2009).

#### 2.3.5.2. Pastoreo rotativo

El pastoreo rotativo consiste en imponer una secuencia regular de pastoreos y descansos sobre un área de pastoreo (Berretta & Do Nascimento, 1991). Se introduce cuando una superficie es dividida en dos o más unidades, y se define como el pastoreo de dos o más subdivisiones en secuencia, seguido por un período de descanso para permitir el rebrote y recuperación de la pastura (Sollenberger et al., 2009). El objetivo del método consiste en alcanzar una mayor eficiencia y

defoliación más uniforme de la pastura, optimizando la productividad y persistencia (Sollenberger et al., 2012).

El concepto rotativo introduce el tiempo como variable de manejo tanto para la duración del pastoreo como para el descanso, siendo las mismas variables determinadas por la tasa de crecimiento de la pastura, carga animal utilizada y número de subdivisiones disponibles (Brizuela & Cibils, 2011).

De acuerdo a Brizuela y Cibils (2011), la implementación de este método de pastoreo depende de componentes básicos que deben ser evaluados previo a cualquier decisión, siendo estos: ciclo de rotación, período de pastoreo u ocupación, y período de descanso. El ciclo de rotación se define como el número de días que va desde el comienzo de un período de pastoreo hasta el comienzo del próximo en una misma subdivisión. El período de pastoreo se establece por número promedio de días durante el cual cada subdivisión es ocupada por animales. Y el período de descanso se determina por el número de días sin ocupación por animales en una subdivisión, dentro del ciclo de rotación (Brizuela & Cibils, 2011). Por tanto, la última decisión es el número de subdivisiones necesarias, que debe calcularse como la sumatoria del período de descanso y el período de pastoreo, dividido el período de pastoreo; pudiendo ser variable el largo del período de descanso en función de la estación del año (Sollenberger et al., 2009).

En pastoreo rotativo, a diferencia del continuo, la oportunidad de seleccionar la dieta cae al aumentar el largo del período de ocupación de una pastura. La selectividad se ve muy limitada al final de la ocupación, previo al cambio de pastura y a disponibilidades cada vez más bajas (Bryant et al., 1970).

Vendramini y Sollenberger (2020) destacan que el pastoreo rotativo tiene el potencial de incrementar la eficiencia de cosecha o pastoreo, es decir, la proporción del forraje producido que es consumida por los animales; a diferencia del pastoreo continuo, donde gran proporción del forraje producido es pisoteado o rechazado. Sin embargo, la mayor producción y utilización del forraje que podría alcanzarse ante la aplicación de pastoreos rotativos con cargas adecuadas contribuiría a obtener mejor ganancia animal por unidad de área (Vendramini & Sollenberger, 2020). De todos modos, el pastoreo rotativo por sí mismo no es garantía de una buena gestión de las pasturas y mejor ganancia animal (Sollenberger et al., 2009).

En cuanto a las ventajas del método, Vendramini y Sollenberger (2020) identifican: oportunidad de tomar decisiones en base a la variabilidad estacional de las pasturas y los requerimientos animales, posibilidad de diferimientos de forraje cuando hay excesiva producción, y oportunidad para adaptar las necesidades animales a la capacidad de suministro de nutrientes del forraje. Respecto al último punto, los autores proponen pastorear forraje de mejor calidad con categorías animales de mayores requerimientos, y seguida a ésta, permitir pastoreo del forraje residual a categorías menos exigentes nutricionalmente. Por otro lado, según Sollenberger et al. (2009), hay un mejor control de los animales dada la mayor

frecuencia de movimientos y visitas que permiten identificar y prevenir problemas sanitarios.

En cuanto a las desventajas, Vendramini y Sollenberger (2020) señalan: inversión inicial alta (parcelas, agua, etc.), mano de obra requerida para el movimiento de los animales, y mayores decisiones de manejo involucradas.

## 2.4. EFECTO DE LA OFERTA DE FORRAJE

### 2.4.1. En la producción de forraje

La OF afecta la absorción de la radiación fotosintéticamente activa mediante modificaciones en el índice de área foliar (IAF) remanente. Intensidades altas de pastoreo (OF 4%) reducen el IAF remanente, la intercepción solar disminuye y baja la eficiencia en la utilización de la radiación fotosintéticamente activa (PAR, por su sigla en inglés) incidente para la producción primaria (Boggiano et al., 2011; Nabinger, 1999). En este sentido, el IAF remanente y la PAR capturada, incrementan con la OF. Consecuentemente, la producción de forraje y la tasa de acumulación presentan respuesta cuadrática frente a incrementos en la OF, alcanzando el máximo a niveles en torno a 11,5% (Moojen & Maraschin, 2002).

La tasa de crecimiento (TC) presenta una relación directa con el valor del IAF, incrementando hasta un valor de IAF crítico, en el cual no continúa aumentando, aunque sea mayor la PAR incidente (Brougham, 1956). Por otro lado, la eficiencia de transformación de la PAR incidente en producción primaria se ve prácticamente triplicada al pasar de OF de 4% para 16% (Nabinger, 1999).

El manejo variable de la OF a lo largo del año es una estrategia decisiva para maximizar la productividad primaria y secundaria, frente a mantener OF fijas. Modificaciones en la OF de 8% en primavera y 12% en el resto del año resulta en tasas de crecimiento superiores al modelo de respuesta para OF fijas, maximiza la producción de forraje y propicia producción de forraje superior en el período otoño - invierno; atribuible a que intensidades de utilización altas en primavera conforman un IAF de mejor calidad y eficiencia fotosintética, con productividades mayores, evidenciado en la mayor disponibilidad hacia el otoño - invierno (Aguinaga et al., 2004; Mezzalira et al., 2012). Resultados similares fueron obtenidos por Pinto et al. (2008), observando aumentos en las tasas de crecimiento y producción de forraje en la medida que aumentaban las OF; manejos a OF 12%, 16% y en la alteración 8% en primavera a 12% en el resto del año, obtuvieron las producciones de forraje máximas, sin diferenciarse significativamente entre los respectivos niveles de OF.

A nivel nacional, Do Carmo et al. (2013), en una evaluación de tres años, determinaron que el crecimiento no difiere estadísticamente para dos niveles contrastantes de OF (10% y 7,5%, alta y baja, respectivamente), aunque mostró tendencia a modificarse; resultando en mayor nivel y menor caída en condiciones de alta OF.

El cambio estacional en los niveles de OF impactaron en el funcionamiento del ecosistema a lo largo del año. A corto plazo, mejoró la masa y acumulación de forraje. A largo plazo, determinó mejoras en la producción anual de forraje y atenuación del déficit hídrico, condición que ocurrió durante un año. A muy corto plazo, la implicancia negativa resultó en la disminución de la carga, pero la mejora en producción de forraje determinó similar carga animal anual, con mejoras en el estado corporal de los animales e indicadores reproductivos (Do Carmo et al., 2013).

#### 2.4.2. En la estructura de la pastura

La intensidad de pastoreo determina distintas estructuras de vegetación en las pasturas, que a su vez condicionan el comportamiento del animal en pastoreo (Nabinger et al., 2011).

Pasturas mantenidas a niveles de OF entre 11 – 13%, constantes a lo largo del año, generan una estructura de doble estrato, donde el estrato superior se compone por especies estivales cespitosas, poco apetecidas, que florecen al final de primavera, disminuyendo la calidad nutricional del forraje y dificultando el proceso de pastoreo; y en contraste, a niveles de OF mayores, pasando de 12% a 16%, el aumento en la altura y disponibilidad de forraje, así como la proporción de maciegas, repercuten negativamente en el proceso de búsqueda y cosecha del forraje (Mezzalira et al., 2012; Neves et al., 2009). La disponibilidad de forraje mayor genera una estructura más compleja, dificultando la exploración del animal en pastoreo (Laca, 2008).

Aguinaga et al. (2004), Neves et al. (2009) y Mezzalira et al. (2012) concluyen que manejos a OF variables entre 8% en primavera y 12% en el resto del año minimizan la formación de un doble estrato, manteniendo un área efectiva de pastoreo elevada así como la calidad del forraje.

La utilización de OF variables a lo largo del año, mediante ajustes de la carga animal, permiten alterar la estructura de la pastura, particularmente, la dinámica de ocupación de matas y la estructura del estrato inferior. Intensidades elevadas – OF bajas (4%) - determinan un perfil de la pastura uniforme y en un único estrato (4 cm), con predominio de especies postradas, estivales y mayor proporción de suelo descubierto. Intensidades moderadas - OF intermedias (8%) - incrementan la altura del estrato inferior (5 cm), promueve otras especies de valor forrajero, y aumenta la proporción de matas, aumentando la masa total de forraje. Intensidades menores - OF moderadas y altas (12% y 16%) - determinan una estructura típica de doble estrato, incrementando la proporción de matas (hasta un 40%) y su diámetro, la altura del estrato inferior (8 – 9 cm), y la cantidad presente de material muerto (Pinto et al., 2019).

El control del nivel de OF impacta en la evolución de la altura y masa de forraje, así como las condiciones climáticas influyen sobre la producción de forraje, y consecuentemente en la estructura de la pastura (Do Carmo et al., 2013).

Resultados nacionales evidenciaron que la masa y altura del forraje resultan significativamente diferentes entre tratamientos de alta (10%) y baja OF (7,5%) en verano - otoño, siendo los niveles mayores para la condición de alta OF, consecuencia de las variaciones estacionales en la producción de forraje, afectadas por el clima (Do Carmo et al., 2013).

Casalás (2019) obtuvo resultados para las variables estructurales masa de forraje y altura de lámina y vaina, en pasturas naturales sometidas a dos niveles de OF, alta (8 – 4 %, en otoño e invierno, respectivamente) y baja (4 – 4%, en otoño e invierno, respectivamente). La condición de alta OF determinó variables estructurales mayores, con valores superiores en otoño, mientras que en la siguiente estación los valores disminuyeron debido a una menor OF y condiciones ambientales más limitantes para el crecimiento de la pastura.

#### 2.4.3. En la composición botánica

Las alteraciones en la intensidad de pastoreo determinan alteraciones en la diversidad de especies. En forma general, la diversidad puede ser relativamente baja frente a mayores o menores intensidades de pastoreo (Milchunas et al. como se cita en Nabinger et al., 2011). Este efecto fue evaluado analizando la respuesta de una pastura natural sometida a distintos niveles de OF, resultando en diversidades bajas cuando la OF fue 4%, diversidades más altas a niveles de OF por encima de 8%, y finalmente logrando la diversidad máxima a OF 12%, decreciendo a niveles de OF mayores (Carvalho et al. como se cita en Nabinger et al., 2011).

Pinto como se cita en Nabinger et al. (2011), sobre la misma vegetación, obtuvo como resultado de la aplicación de OF bajas, mayor frecuencia de especies de hábito postrado como *Paspalum notatum*, *Axonopus affinis* y *Stylosanthes montevidensis*, incrementando la diversidad a OF mayores, con el aumento de especies invernales (ej. *Briza poaemorpha*, *Briza subaristata*, *Piptochaetium lasianthum*, *Piptochaetium montevidense*) y leguminosas (ej. *Desmodium ascendens*), junto a especies estivales cespitosas (ej. *Andropogon lateralis*, *Arsitida laevis*, *Schizachyrium microstachyum*).

De acuerdo a Nabinger (1999), intensidades de pastoreo altas tienden a degradar los ecosistemas, resultando en baja cobertura de suelo y sustitución de especies productivas por menos productivas, o pérdida completa de especies forrajeras; mientras que, intensidades de pastoreo bajas pueden resultar en dominancia de pasturas cespitosas de bajo valor nutritivo, arbustos y/o otras especies indeseables, principalmente de los géneros *Baccharis* y *Eryngium*.

El efecto del animal en pastoreo también se puede reflejar en la influencia de la frecuencia e intensidad de defoliación sobre especies individuales. Girardi-Deiro & Gonçalves, como se cita en Nabinger (1999), observaron el aumento en la frecuencia de *Paspalum notatum* desde 26,9% a 62,9%, al pasar de intensidades de pastoreo bajas a altas. Soares et al. (2015) demostraron que los mayores impactos en la composición botánica ocurren al pasar de manejos a OF altas hacia OF bajas, siendo *Andropogon lateralis* y *Eryngium horridum* buenas especies indicadoras del grado de intensidad de pastoreo sobre pasturas naturales, las cuales aumentan su contribución hacia OF altas (16%) en detrimento de la contribución de otras especies de interés forrajero; mientras, a OF en torno a 8% u 8 – 12% (en primavera, y resto del año, respectivamente), se produce una disminución de *Andropogon lateralis*, y aumenta la contribución de otras especies.

A nivel de resultados nacionales, Olmos et al. (2013), en condiciones de alta OF, manifestaron encontrar mayor tendencia al aumento en el número de especies forrajeras, respecto a bajas OF. El análisis en base a una especie, *Coelorachis selloana* - considerada de interés por su sensibilidad al pastoreo y una amplitud ecológica de tolerancia al sobrepastoreo y competencia inter-específica - destacó su incremento en frecuencia hacia el otoño, y significativamente mayor para la condición de alta OF.

Boggiano et al. (2005) sostienen que las especies invernales se incrementan con aumentos de la OF, indicando la necesidad de manejar pastoreos menos intensos en otoño e invierno para promover la contribución de las gramíneas invernales; pudiendo superar en más de tres veces el aporte de las gramíneas estivales, impactando en la calidad del forraje, siempre que sean de tipo productivo finas a tiernas. La relación invernal/estivales se incrementa hasta valores cercanos a 1 con manejos de la OF cercanas a 11%, lo que podría implicar disminución muy importante en la carga.

Luberriaga y Robuschi (2019), en campo natural virgen en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) sometido a pastoreo rotativo con 14 días de pastoreo y 42 días de descanso en el período invernal, a niveles de OF 13,8%, obtuvieron predominancia del grupo de especies invernales tiernas – finas (43%), perennes estivales tiernas – finas (17%), restos secos (17%) y anuales invernales tiernas – finas (8%). Las principales representantes del grupo de gramíneas invernales tiernas – finas fueron *Stipa setigera*, *Poa lanigera*, *Bromus auleticus*, *Piptochaetium bicolor* y *Piptochaetium stipoides*.

Duhalde y Silveira (2018), sobre la misma área experimental y bajo igual régimen de pastoreo, obtuvieron para el total del período evaluado (invierno a primavera), a un nivel de OF 9%, mayor contribución de gramíneas invernales perennes (27%), seguidas por gramíneas perennes estivales tiernas – finas (25%), particularmente *Paspalum notatum*, y gramíneas anuales invernales (11%). En el período invernal, con niveles de OF 10,8%, la mayor contribución fue dada por gramíneas perennes estivales tiernas – finas (31%), con la misma especie como

principal representante, seguidas por, gramíneas invernales perennes (24%), y gramíneas anuales invernales (10%).

#### 2.4.4. En la producción animal

La producción animal, entendida como producción por unidad de área, es producto de la producción animal individual por el número de animales presentes por unidad de área. El gran dilema en el manejo de pasturas es que la producción de forraje y la producción animal no pueden maximizarse al mismo tiempo (Nabinger, 1999).

Mott (1960) presentó una serie de curvas que describen la relación entre la presión de pastoreo sobre la ganancia individual y por unidad de área. Presiones de pastoreo sub-óptimas (subpastoreo) determinan ganancias individuales mayores, dada la mayor oportunidad de selección de una dieta de mayor valor nutritivo. De manera contraria, presiones de pastoreo superiores al óptimo (sobrepastoreo) deprimen las ganancias individuales, al reducirse la disponibilidad de forraje y oportunidad de selección; pero obteniendo mayor ganancia animal por unidad de área.

El consumo de forraje responde en forma positiva con la OF, al igual que las ganancias de peso vivo; y a su vez, este desempeño animal depende de las condiciones de la pastura que permitan maximizar el consumo de forraje. De acuerdo a Da Trindade et al. (2019) a OF bajas, con alturas por debajo de los 5 cm, la disponibilidad de forraje para el animal es insuficiente, y el consumo diario puede verse reducido hasta un 30%; mientras que a OF altas, a partir de 10%, se alcanzan los mayores consumos diarios al presentarse de forma simultánea elevada cantidad de forraje con estructuras que favorecen la cosecha y selectividad, con mejoras la calidad de la dieta y reducción del tiempo en pastoreo. En esta última condición, la respuesta animal se maximiza dada la mejor conversión del alimento en producto animal.

Por otra parte, según Da Trindade et al. (2019) el máximo consumo de forraje se da con eficiencias de cosecha menores al 26%, lo que indica que, en pasturas naturales, para que el consumo se maximice, hay que ofertar al animal al menos cuatro veces más de lo que podría consumir. No obstante, condiciones de OF excesiva, con eficiencias de cosecha menores a 20%, ya implicarían dificultades en la cosecha. Ofertar al animal entre una a cuatro veces más de lo que puede consumir a diario tiene dos principales justificaciones: la estimación del forraje disponible se realiza a partir del nivel del suelo, es decir, desde un estrato en el cual el animal no logra consumir, y por otro lado debe posibilitarse el rebrote posterior a partir del forraje remanente (Wallau et al., 2019).

Nabinger (1999) sostiene que la eficiencia de conversión de PAR en la producción animal incrementa en 100% al pasar de OF 4% a 12%. De esta manera

se evidencia como tan solo la práctica de ajustes en la OF, de muy bajo costo, puede mejorar la producción animal en dicha magnitud.

Los niveles crecientes en la OF determinan respuesta cuadrática para las variables ganancia media diaria (GMD) y ganancia por unidad de área (Moojen & Maraschin, 2002; Setelich, 1994). Moojen y Maraschin (2002) determinaron GMD máximas de 0,540 kg PV/a/día a nivel de OF 13,4%, y ganancias por unidad de área máximas de 185 kg PV/ha a OF 11,8%. En cuanto a la carga, expresada como animales/día, se relacionó de forma lineal a los niveles crecientes de OF.

Manejos estacionales de la OF, utilizando OF 8% en primavera y 12% el resto del año, permiten maximizar las ganancias diarias individuales y por área (Aguinaga et al., 2004; Mezzalira et al., 2012; Pinto et al., 2008); incluso manteniendo ganancias en el período otoño - invierno (Aguinaga et al., 2004). De todos modos es importante resaltar el efecto año. Mezzalira et al. (2012), aún con este manejo aplicado, obtuvieron pérdidas de peso invernales, atribuibles a condiciones climáticas de bajas temperaturas que disminuyeron la disponibilidad y calidad del forraje.

A nivel nacional, en experimentos de corto plazo (tres años), Soca et al. (1993) determinaron que OF de 7,5 y 10% optimizan la ganancia individual y por unidad de área respectivamente. Así mismo, las variaciones estacionales en las ganancias de peso evidenciaron la importancia de los ajustes de la OF a lo largo del año (Soca et al., 1993).

Bove y Gutiérrez (2021) recopilaron resultados de GMD para un período de cuatro años, desde invierno 2014 hasta primavera 2018, de un campo natural virgen en la EEMAC sometido a manejo de pastoreo rotativo a carga variable (OF 10% en verano, 10 – 12% en primavera, 8% en otoño y 6 – 8 % en invierno), con 14 días de pastoreo y 42 días de descanso, obteniendo GMD de 0,64, 0,64, 0,34 y 0,23 kg PV/a/día, para las estaciones de verano, primavera, otoño e invierno, respectivamente.

Duhalde y Silveira (2018) sobre esta área experimental en el período invernal a OF 10,8%, obtuvieron pérdidas de PV, con GMD de -0,230 kg PV/a/día, y -26 kg PV/ha; atribuibles al efecto directo de las bajas temperaturas y precipitaciones. De manera contraria, en el período invierno – primavera, a niveles de OF 7,6%, los resultados obtenidos fueron de 0,380 kg PV/a/día para GMD, y ganancias por unidad de área de 44 kg PV/ha. De aquí, se resalta que también existe un efecto indirecto del año, independientemente de los niveles de OF manejados.

## 2.5. EFECTO DEL MÉTODO DE PASTOREO

### 2.5.1. En la producción de forraje

En base a revisión internacional, Sollenberger et al. (2012), en 27 artículos - sobre pasturas sembradas -, encontraron en 23 de ellos (85%), reportes de mayor

producción de forraje bajo pastoreo rotativo, con incrementos variables entre 9 a 68%, promediando una superioridad de 30%; respuesta que se atribuyó a incrementos en el macollaje, mantención del IAF cercano al óptimo y remoción de tejidos viejos. Respecto a esto, la mayor disponibilidad de forraje en pastoreo rotativo se asocia a una mayor eficiencia lograda en la utilización del forraje (Sollenberger et al., 2012). Norton, como se cita en Sollenberger et al. (2012), lo asociaron a un menor tamaño de las parcelas y altas cargas instantáneas.

En pastoreo rotativo, los períodos de descanso entre defoliaciones sucesivas permiten alcanzar una mayor producción de área foliar, y por lo tanto mayor radiación puede ser interceptada y utilizada para la fotosíntesis (Ward & Blaser, como se cita en Bryant et al., 1970). Sin embargo, en pasturas naturales, en base a una exhaustiva revisión de experimentos internacionales, Briske et al. (2008), reportaron que el 89% de los trabajos a cargas animales similares, no informaron diferencias en la producción de forraje. Gammon (1978), también comparando experimentos en pastoreo continuo y rotativo, en la mayoría de los trabajos, no determinó mejoras en la producción de forraje; y sostuvo que no hay evidencia de experimentos de largo plazo que demuestren deterioro de las pasturas sometidas a pastoreo continuo.

Heitschmidt et al. (1987a) apoyan la hipótesis de que la producción de forraje es variable según la carga animal aplicada, determinada por la cantidad y tamaño de las parcelas. Heitschmidt et al. (1987b) compararon la dinámica de crecimiento del forraje bajo pastoreo rotativo en pasturas naturales, con ocupaciones de corta duración (2 – 4 días), y pastoreo continuo, determinando comportamiento similar, con un marcado efecto año para ambos métodos de pastoreo. Sin embargo, la disponibilidad de forraje fue mayor en pastoreo continuo, dada la mayor acumulación de material senescente; así mismo, plantean que los resultados podrían haber estado más asociados a efectos de la carga animal - que fue mayor en los rotativos - y no respecto al método.

Gammon y Roberts como se cita en Heitschmidt et al. (1987b) tampoco encontraron diferencias entre pastoreo continuo y rotativo a igual intensidad, tanto para las variables cantidad y calidad del forraje, así como también, restos secos; resultados que atribuyeron a la similar selectividad y frecuencia e intensidad de defoliación sobre plantas individuales.

Hart et al. como se cita en Holechek et al. (1989) reportaron, luego de 6 años de experimentación, que bajo diferentes métodos de pastoreo (diferido, de corta duración y continuo) a igual intensidad, no hay diferencias en la producción de forraje; y dado que la composición botánica del tapiz en cada tratamiento fue similar, los resultados demuestran que no hubo ventajas de las distintas modalidades frente al continuo.

Por otro lado, Heitschmidt et al. (1987b) afirman que el aumento obtenido en la capacidad de carga (10 – 15%) se asocia a una mejor distribución de los animales en pastoreo, y no a una mejora en la producción de forraje. En contraste a

esta línea, Heady como se cita en Holechek et al. (1989), si bien experimentó sobre pasturas de ciclo anual, determinó mejores producciones de forraje bajo pastoreo continuo cuando se aplicaron prácticas para mejorar la distribución de los animales en pastoreo.

A nivel regional, a partir de experimentos en Río Grande del Sur, De Souza et al. (1989) sostienen que el período de descanso afecta la producción de forraje (kg MS/ha) y la carga animal a utilizar, al encontrar que los mayores valores de ambas variables se lograron en pastoreo rotativo con 56 días de descanso; siendo el mejor tratamiento respecto al continuo y las restantes frecuencias evaluadas (14, 28, 42 y 70 días) que no se diferenciaron significativamente entre sí.

Perin (1990), evaluando dos años de aplicación pastoreo continuo y pastoreo rotativo a diferentes períodos de descanso (21, 35, 49, 63 y 77 días), con niveles de OF fija (6 y 8%, en el primer y segundo año, respectivamente), no determinó respuesta significativa ni un patrón claro en la producción de forraje asociada a los días de descanso; atribuyendo los resultados a un marcado efecto año y a la composición botánica del tapiz con alta frecuencia de gramíneas postradas, *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis*, más adaptadas al pastoreo frecuente respecto a las cespitosas (Youngner como se cita en Perin, 1990). En relación con la tasa de crecimiento, Perin (1990) no encontró una respuesta a los días de descanso, sino que las diferencias en los resultados se asociaron al efecto año y las condiciones climáticas variables.

Da Silva Brum et al. (2008) y Soares et al. (2015) tampoco determinaron producciones de forraje diferenciales respecto al método de pastoreo. En cuanto a la disponibilidad de forraje y alturas del estrato inferior, Soares et al. (2015) tampoco detectaron diferencias, pero sí hubo un marcado descenso al avanzar el período de evaluación, manteniendo aún una OF fija en 12%.

En experimentación nacional, Dos Santos et al. (1992), determinaron que la producción de forraje fue muy similar entre pastoreo continuo y rotativo en todas las estaciones evaluadas. En cambio, la disponibilidad de forraje fue diferente entre métodos en el período otoño - invierno, donde los rotativos presentaron valores superiores; asociado a los prolongados períodos de descanso, que permitieron diferir forraje hacia estaciones posteriores.

También, Carrera et al. (1996) y Gaggero et al. (1996), determinaron que la mayor disponibilidad de forraje se logró en pastoreo rotativo, siendo el único tratamiento que no presentó un marcado déficit invernal; consecuencia de los períodos de descanso y administración del forraje.

Formoso (2005) determinó que la producción de forraje en tratamientos con pastoreo diferido resultó 23% superior respecto al continuo. La mayor producción se atribuyó al aumento de gramíneas respecto a las no gramíneas. Por su parte, Berretta (2005) reporta, en pastoreo rotativo, una producción de forraje 11% superior respecto a la obtenida en pastoreo continuo, implicando un aumento en la

capacidad de carga, asociado a los períodos de descanso, que permite una mejor recuperación de las plantas y el rebrote no es defoliado inmediatamente, determinando mayor cantidad de tejido fotosintético para acumular reservas.

Boggiano et al. (2005) determinaron, sobre suelos de la Unidad San Manuel (Formación Fray Bentos) en la EEMAC, que las frecuencias diferenciales entre pastoreos pueden provocar aumentos paulatinos en la producción de forraje, incrementando la misma al pasar de pastoreos frecuentes (20 días) hacia pastoreos menos frecuentes (60 – 80 días).

En relación con la tasa de crecimiento, Berretta (2005) obtuvo que al aumentar el período entre cortes de forraje (14, 28, 42 y 56 días), la tasa de crecimiento diario disminuye, en una magnitud de 32 % al pasar de 14 a 56 días de descanso, pero posibilita una mayor acumulación de forraje.

#### 2.5.2. En la estructura de la pastura

Los métodos de pastoreo alternativos también han pretendido superar la heterogeneidad a pequeña escala, es decir, el "pastoreo en parches" garantizando la distribución animal más uniforme mediante mejoras en la distribución del agua y/o alambrados (Briske et al., 2008). Esta visión de heterogeneidad, como ya fue mencionado, asociada como un aspecto negativo en sistemas pastoriles extensivos (Laca, 2011).

La dinámica de la defoliación en pastoreo varía según el método de pastoreo. En pastoreo continuo, los animales centran su actividad en un único estrato, y en pastoreo rotativo el animal va defoliando la pastura desde estratos superiores hacia inferiores (Waite, como se cita en Wade & Agnusdei, 2001).

La distribución de animales en pastoreo es consecuencia de la agregación de decisiones individuales de los animales sobre qué y dónde pastorear (Newman, como se cita en Laca, 2011). Estas decisiones tienden a generar patrones agregados de distribución animal que se traducen en una falta de uniformidad en el uso del ambiente (Coughenour, como se cita en Laca, 2011). Di Virgilio et al. (2019), en base a revisión internacional, afirman que pastoreos continuos tienen el potencial de impactar negativamente la distribución espacial del pastoreo y por ende incrementar la heterogeneidad de la vegetación.

En pastoreo continuo sobre áreas grandes, mayor a la necesaria para que los animales obtengan los requerimientos de forraje diarios, se concentra el pastoreo en áreas preferidas, generando manchones de pasturas de baja altura, alta palatabilidad y bajo contenido de fibra (Laca, 2011). En pastoreo rotativo, Heitschmidt como se cita en Sollenberger et al. (2012) indica que se facilita la distribución espacial del pastoreo al aumentar la carga animal instantánea, reduciendo la variabilidad espacial de la presión de pastoreo e incrementando la eficiencia de cosecha del forraje disponible. Pastoreos rotativos incrementan entre 5 – 15% la utilización del

forraje, respecto a pastoreos continuos (Saul & Chapman, como se cita en Sollenberger et al., 2012).

Barnes et al. (2008) evaluaron la heterogeneidad en el uso de las pasturas según el tamaño de las parcelas, concluyendo que a menor tamaño (mayor densidad de animales), el uso es más homogéneo, respecto a parcelas de mayor tamaño sometidas a pastoreo continuo. Por otra parte, la disponibilidad de forraje no tuvo relación con la heterogeneidad en la utilización del forraje. De acuerdo a esto, los resultados muestran que la distribución del animal en pastoreo - y por ende, la utilización y estructura de la pastura - puede ser alterada mediante la modificación en el tamaño de las parcelas pastoreadas. También, Barnes et al. (2008), concluyen que la heterogeneidad de utilización mantuvo correlación con la intensidad, siendo la heterogeneidad menor a intensidades de pastoreo bajas. De todos modos, la relación entre heterogeneidad e intensidad de uso tuvo menos importancia respecto al tamaño de parcelas.

Sin embargo, en experimentos regionales, Seibert (2015) sostiene que pastoreos rotativos con diferentes intervalos de defoliación, en primavera - verano, también pueden generar una doble estructura en la pastura; siendo las rotaciones más largas, aquellas que presentaron mayor proporción de maciegas, en comparación a rotaciones cortas. Lopes (2018), con relación a la variabilidad espacial de alturas bajo pastoreo continuo y rotativo, determina que en pastoreos rotativos las alturas se distribuyen siguiendo un patrón a lo largo del área total pastoreada, lo cual se logra a través del pastoreo más uniforme por área que implica la dinámica del método. En cambio, en pastoreo continuo, las alturas mayores de la pastura se concentraron hacia el centro del área en pastoreo, lo cual se relaciona al comportamiento de pastoreo en grupo de los animales, siendo más frecuente en áreas específicas, generando zonas sub y sobre-pastoreadas (Lopes, 2018).

### 2.5.3. En la composición botánica

La composición botánica de una pastura puede ser modificada a través de cambios en el método de pastoreo, siendo el período de descanso la variable fundamental en determinar la evolución debido a que determina el tiempo de recuperación de la pastura (Boggiano et al., 2005).

Las gramíneas muestran gran adaptación a diferentes frecuencias de pastoreo, explicada por la coexistencia de especies de diferentes hábitos de crecimiento y plasticidad morfológica; frecuencias altas de pastoreo generan una disminución en el tamaño de las plantas, incrementa la presencia de especies postradas, tolerantes a condiciones de pastoreo, y disminuye la frecuencia de especies cespitosas (Boggiano et al., 2005).

A nivel regional, De Souza et al. (1989), en un experimento que comparó pastoreo continuo y rotativos a diferentes frecuencias de defoliación, a un nivel de

OF fija 6%, observaron que el grado de cobertura por forraje fue mayor en primavera, disminuyendo hacia otoño en la medida que aumentaba el suelo desnudo; mientras, los períodos de descanso en otoño - invierno favorecieron el aumento de especies de ciclo invierno – primaveral.

Seibert (2015), en la misma región, evaluó la dinámica de la vegetación y composición florística en primavera – verano en una pastura natural sometida durante tres años a pastoreo rotativo a diferentes frecuencias de defoliación e igual intensidad, sin determinar alteraciones atribuibles a los diferentes períodos de descanso; sosteniendo que la composición botánica, desarrollo y diversidad de especies nativas, tuvo fuerte relación con las condiciones del suelo, relieve y disponibilidad hídrica.

En experimentos nacionales, Berretta (2005) observó, en pastoreos con descansos de 60 días, aumentos en la frecuencia de especies de tipo productivo ordinario a duro (*Schizachyrium spicatum*, *Paspalum plicatulum*, *Andropogon lateralis* y *Aristida uruguayensis*), sólo apetecidas cuando jóvenes. En la evaluación, períodos de descanso prolongados, incrementaron la frecuencia de restos secos, por acumulación de hojas viejas y cañas florales, y llevaron a la reducción de especies como *Paspalum notatum*.

De acuerdo con Formoso (2005), el rebrote bajo pastoreo continuo resulta de mayor calidad, explicado por el aporte de gramíneas rastreras y otras dicotiledóneas. En el pastoreo diferido, la oferta de forraje puede ser mayor dado el tiempo de descanso de la pastura y la promoción de gramíneas de porte erecto, pero de menor calidad.

Boggiano et al. (2005), determinaron, en suelos de la Unidad San Manuel, que cambios en el manejo del pastoreo de continuos a rotativos presentan respuestas diferentes según la zona topográfica y diferentes períodos de descanso. En laderas, al aumentar la frecuencia de pastoreo, las malezas enanas fueron desplazadas por gramíneas postradas como *Paspalum notatum*, dada la mejor adaptación morfológica de esta especie a dichos manejos. En el bajo, el aumento en la frecuencia de pastoreo reduce la presencia de especies de alto porte como *Paspalum quadrifarium* permitiendo la promoción de malezas enanas, favorecidas por mejores condiciones de luminosidad.

Por otro lado, Boggiano et al. (2005), determinaron que, al disminuir la frecuencia de pastoreo, en zonas de ladera, aumentó la producción de forraje invernal, con un "refinamiento" de las pasturas, dada la promoción de especies finas como *Festuca arundinacea* y *Stipa setigera*, especies cespitosas que compiten frente a especies postradas o mejor adaptadas a condiciones de sobrepastoreo, como *Paspalum notatum*. Así mismo, disminuyen especies no palatables (*Baccharis trimera*, *Baccharis coridifolia*, *Baccharis punctulata*, *Eupatorium buniifolium* y *Eryngium horridum*); sólo consumidas frente a altas cargas instantáneas. En zonas

de bajos, la respuesta es similar a la ladera, pero el aumento en producción de forraje se detectó hacia la primavera – verano, explicado por el aumento en proporción de especies estivales de gran tamaño, como *Paspalum quadrifarium*, que sombrean y desplazan a otras especies cespitosas, disminuyendo la calidad de la dieta. En zonas superficiales, incrementaron leguminosas como *Medicago lupulina*, aumentando la fertilidad del suelo, promoviendo el desarrollo de gramíneas productivas.

#### 2.5.4. En la producción animal

Briske et al. (2008), a partir de revisión internacional en experimentos sobre pasturas naturales, determinaron que el 57% de las evaluaciones no informaron diferencias en producción animal individual y por área, entre pastoreo rotativo y continuo, a cargas similares. Cuando la carga utilizada era menor para pastoreo continuo, el 90% de los experimentos detectaron una producción animal individual similar o mayor en estos tratamientos, y 75% superior en producción animal por área.

Gammon (1978), también en base a revisión de experimentos en métodos de pastoreo, concluye que pastoreos rotativos mantienen similares o peores producciones animales que pastoreos continuos. Las diferencias encontradas fueron atribuidas a la carga animal y duración del período de pastoreo, siendo mejores las producciones cuando las intensidades fueron bajas y los períodos de ocupación más cortos.

Barnes y Denny (1991) no encontraron diferencias en producción animal, individual y por área, relacionadas al método de pastoreo continuo o rotativo; sólo el caso de pastoreo continuo a carga baja, durante la estación de crecimiento, logró una producción animal individual 13% superior a los restantes tratamientos, pero que no compensó dada la menor carga.

Heitschmidt et al. (1982), comparando dos años de evaluación de pastoreos de corta duración y continuos, no encontraron diferencias significativas en GMD. Sin embargo, la mayor carga animal soportada en pastoreos de corta duración permitió duplicar las ganancias por unidad de área.

Holechek et al. (1989), también en base a revisión, encontraron que, en la mayoría de los casos, la producción animal individual obtenida fue mejor para pastoreos continuos respecto a rotativos; lo cual fue explicado por la mayor oportunidad de selección y menores disturbios ocasionados por el animal en pastoreo.

A nivel regional, De Souza et al. (1989), determinaron que las mejores ganancias diarias, 0,298 kg PV/a/día, se logran en pastoreo rotativo con 28 días de frecuencia de defoliación, así como también, las ganancias por unidad de área, que promediaron 214 kg PV/ha/año.

Perin (1990) no obtuvo diferencias significativas para GMD entre pastoreo continuo y rotativo, sino que los resultados mostraron un marcado efecto año, al promediar 0,441 y 0,602 kg PV/a/día, para el primer y segundo año evaluado, respectivamente; resultados atribuidos a la igualdad en oportunidad de cosecha, dado que todos los tratamientos se manejaron a la misma intensidad de pastoreo. Tampoco hubo diferencias significativas para la ganancia por unidad de área. Si bien, en pastoreo continuo se obtuvieron valores de GMD inferiores, compensó por una mayor densidad de animales.

Da Silva Brum et al. (2008), en primavera, obtuvieron valores superiores de GMD para pastoreo continuo respecto al rotativo, relacionado a la mayor oportunidad de selección de forraje. En relación con la ganancia por unidad de área, en el primer período, no encontraron diferencias significativas entre tratamientos, mientras que, en el segundo período, pastoreos rotativos lograron valores mayores, dada la mayor carga animal alcanzada. En tanto, Soares et al. (2015), determinaron GMD similares para ambos métodos de pastoreo durante el período otoño - invierno.

A nivel nacional, Dos Santos et al. (1992), no encontraron respuestas significativamente diferentes en GMD y por unidad de área dadas por el método de pastoreo, rotativo o continuo. Los autores destacan que las cargas utilizadas podrían no haber sido fuertemente contrastantes, y la reciente iniciación de la evaluación, que no permitió hasta ese momento, generar situaciones diferentes en crecimiento y disponibilidad de forraje. Las ganancias fueron favorables por las buenas condiciones climáticas (invierno benigno y buena distribución de las precipitaciones).

Gaggero et al. (1996) y Carrera et al. (1996) no registraron diferencias significativas para GMD en todo el período evaluado; sólo las estaciones de verano y primavera determinaron respuesta significativa a favor de pastoreos rotativos a bajas dotaciones. No obstante, en ambos experimentos, en pastoreo rotativo, las pérdidas de peso invernales fueron menores.

En relación con la ganancia por unidad de área, Carrera et al. (1996), detectaron los mejores resultados en pastoreo rotativo, manejado a cargas bajas; dicha superioridad asociada a una mejora en la eficiencia en la utilización del forraje, sin resentir la productividad individual. En pastoreo rotativo, a cargas mayores, la ganancia por unidad de área obtenida fue menor, debido al marcado descenso en la GMD, dada la menor disponibilidad de forraje por animal. Por su parte, Gaggero et al. (1996), no detectaron diferencias significativas al comparar las ganancias por unidad de área entre pastoreos rotativos y continuos.

Boggiano et al. (2005) determinaron que, en suelos de la Unidad San Manuel, la modificación en la composición botánica al pasar de pastoreos continuos a pastoreos con frecuencias diferenciales, permitió llevar producciones secundarias

promedio de 70 kg PV/ha, sobre pasturas degradadas, hacia producciones promedio de 150 kg PV/ha, cuando el tapiz fue recuperado mediante manejos de pastoreo a bajas frecuencias.

Los resultados de Formoso (2005) demuestran que el método de pastoreo no afectó a la ganancia de peso vivo en vacunos y al peso de vellón en ovinos, pero sí detectó marcado efecto del año. Por otro lado, también hubo diferencias en la composición de la masa de forraje para cada método de pastoreo, que pueden haber afectado el desempeño animal.

## 2.6. INTERACCIÓN MÉTODO DE PASTOREO Y OFERTA DE FORRAJE

Desde mediados del siglo pasado, se han promovido métodos de pastoreo alternativos - rotativos con múltiples parcelas - con el objetivo de mejorar y mantener la productividad de los sistemas pastoriles, basados en experiencias y no en evidencia científica (Teague et al., 2013). A nivel internacional, tras extensas revisiones temporales y espaciales, no se ha encontrado una respuesta superior en productividad a favor de métodos de pastoreo continuo o rotativos, en sus diferentes modalidades (Briske et al., 2008; Di Virgilio et al., 2019).

A pesar de las inconsistencias en los resultados en producción de forraje y animal entre métodos de pastoreo, el pastoreo rotativo continúa siendo adoptado y promovido por su impacto aparente sobre la productividad de las pasturas y su conservación (Di Virgilio et al., 2019).

De esta manera, a partir de los resultados recopilados, se concluye que, pese a las diferencias obtenidas en cantidad y calidad del forraje disponible, en determinadas situaciones, las diferencias en productividad de forraje y animal son mayormente atribuibles a la carga animal y no al método utilizado (Heitschmidt et al., 1987b).

La carga animal ha sido identificada como el factor más importante determinante del rendimiento general de los sistemas de pastoreo, incluyendo la productividad, la sostenibilidad y la composición de la vegetación (Hart et al., Hickman et al., como se cita en Laca, 2009).

La intensidad de pastoreo resulta ser la única variable que determina los resultados en producto animal, en cualquier método de pastoreo; disminuyendo la probabilidad de resultados negativos con intensidades bajas, contribuyendo a mantener el estado de las pasturas y la productividad (Di Virgilio et al., 2019).

En experimentación nacional, involucrando métodos de pastoreo (continuo y rotativo) y diferentes niveles de carga animal, tampoco se han encontrado resultados consistentes que indiquen la superioridad de uno u otro método de pastoreo, sino que la carga animal ha sido la principal determinante tanto de la

producción de forraje y animal en función de las distintas intensidades de pastoreo aplicadas (Berretta, 2005; Carrera et al., 1996; Dos Santos et al., 1992; Formoso, 2005; Gaggero et al., 1996).

En relación a la composición del tapiz de las pasturas naturales, la carga animal puede ocasionar cambios en la composición de una comunidad vegetal hacia otra menos productiva o de menor valor nutritivo cuando ésta excede la capacidad de carga. Cuando esto ocurre, ningún método de pastoreo permite modificar la situación (Berretta, 2005).

Si bien el cambio en el manejo del pastoreo y el ajuste estacional de los períodos de descanso podría incrementar la productividad de las pasturas - frente a modificaciones en las proporciones de los componentes del tapiz - la respuesta es dependiente de las características del suelo, estado de degradación, frecuencia de especies deseables y banco de semillas presente. Si la memoria genética del campo es suficiente, es posible lograr respuestas productivas frente a cambios en el manejo del pastoreo, siendo ésta la herramienta fundamental para modificar relaciones de competencia en la comunidad vegetal y conducir a una sucesión vegetal más productiva (Boggiano et al., 2005).

Existen experimentos, a nivel regional y nacional, que han detectado respuestas diferenciales de las especies a modificaciones en la frecuencia e intensidad de pastoreo (Berretta, 2005; Boggiano et al., 2005; Do Carmo et al., 2013; Rosito & Maraschin, 1984); siendo aportes claves para predecir la evolución en la composición del tapiz, según sea el punto de partida, frente a cambios en el manejo del pastoreo. La respuesta de las especies dominantes difieren según el hábito de crecimiento y tipo productivo, y de su tolerancia o capacidad de adaptarse al pastoreo.

Por otra parte, el método de pastoreo modifica la distribución espacial de los animales, modificando los patrones de utilización del forraje y variabilidad de estructuras en la pastura (Lopes, 2018; Seibert, 2015). De todas formas, las respuestas quedan determinadas por la intensidad de pastoreo, duración de los períodos de ocupación y tamaño de las parcelas (Barnes et al., 2008; Lopes, 2018; Seibert, 2015).

### 3. HIPÓTESIS BIOLÓGICA

1. La estructura de la pastura estará condicionada por el nivel de OF y no por el método de pastoreo; lográndose mejores condiciones de estructura para el desempeño animal en el nivel Alto de OF.

2. La heterogeneidad espacial estará condicionada por el nivel de OF y las diferentes situaciones de condiciones edáficas, y en menor medida, por el método de pastoreo; maximizándose a nivel Alto de OF en zonas de alta respuesta productiva.

3. La composición botánica de la masa de forraje disponible estará condicionada por las diferentes situaciones de condiciones edáficas, y dentro de cada una, por la interacción entre el método de pastoreo y el nivel de OF.

4. La respuesta animal, en ganancias medias diarias, estará condicionada por el nivel de OF y no por el método de pastoreo; siendo esperable mejores desempeños a nivel Alto de OF, en ambos métodos de pastoreo.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES

#### 4.1.1. Localización del sitio experimental

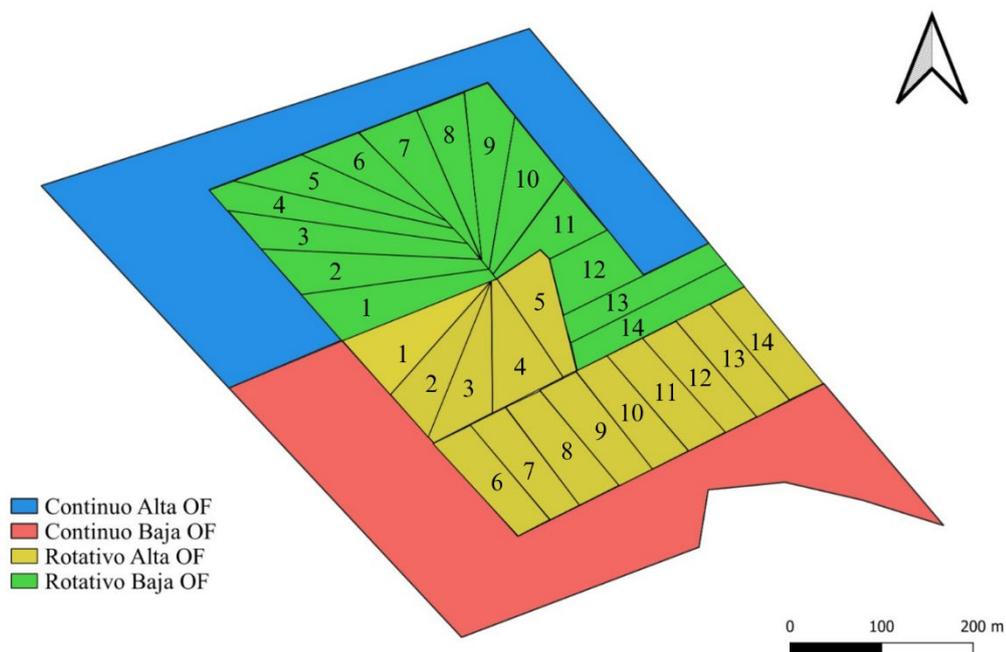
El experimento se ubica en la EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay, localizada sobre la ruta nacional N.º 3 Gral. José Gervasio Artigas, en el kilómetro 363. El mismo se desarrolla sobre el potrero 13 (La -32.387511°S y Lo -58.033235°O).

El período de evaluación fue del 15 de marzo de 2023 al 26 de junio de 2023, abarcando la estación de otoño.

El área experimental es de 37,8 hectáreas. Cada tratamiento abarca una superficie similar de 9,4 hectáreas, siendo los tratamientos Rotativos divididos cada uno en 14 subparcelas de 0,67 hectáreas (Figura 3).

### Figura 3

*Croquis del experimento*



*Nota.* Elaborado utilizando el programa QGis versión 3.26.3 Buenos Aires.

#### 4.1.2. Caracterización del sitio experimental

Según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, escala 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976), el experimento se ubica sobre la Unidad de suelos San Manuel, perteneciente a la formación geológica Fray Bentos.

Según Preciozzi et al. (1985) esta formación se caracteriza por areniscas muy finas y loess, con porcentaje variable de arena fina, a veces muy arcillosas, masivas, de color naranja; en la base, desarrolla niveles lodo líticos, fango líticos y brechoides.

En la unidad de suelos San Manuel se encuentran como suelos dominantes Brunosoles Éutricos Típicos, de textura limo arcillosa con fases superficiales y moderadamente profundos. Como suelos asociados, se encuentran Brunosoles Éutricos Lúvicos, limosos con fases sódicas, suelos Solonetz Solodizados Melánicos de textura franco, y también Gleysoles (Durán et al., 1976).

El clima en Uruguay se clasifica como subtropical húmedo, con temperaturas media anuales entre 17,7 y 19,8 °C, mayores hacia el Norte. La orientación general de las isotermas es de Suroeste a Noreste, de manera creciente desde 16,5°C a 19°C. Las temperaturas más altas se registran en los meses de enero y febrero, y las más bajas en junio y julio, según la región del país. Los cambios de temperatura pueden ser frecuentes y pronunciados, en cualquier época del año (Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], 2023).

Las precipitaciones medias acumuladas anual se encuentran entre 1200 a 1600 mm, siendo distribuidas de forma homogénea durante todo el año (régimen isohigro). Son menores hacia el Sureste y mayores hacia el Noreste (INUMET, 2023).

En cuanto a heladas, a nivel nacional, se ha establecido el período de ocurrencias desde abril a octubre, concentrando la mayor cantidad en junio, julio y agosto (De Mello, 2013).

#### 4.1.3. Antecedentes del área experimental

Históricamente, el potrero era utilizado en agricultura hasta el año 1978, cuando se siembra un cultivo de trigo con una pradera consociada de *Festuca arundinacea*, *Lotus tenuis*, *Trifolium pratense* y *Trifolium repens*.

A partir de ese momento, no se realizan nuevas siembras. El campo comienza un proceso de regeneración hacia lo que es hoy en día, un campo natural restablecido; evidenciado por la presencia de especies indicadoras, tales como *Aristida uruguayensis*, *Coelorhachis selloana*, *Eupatorium subhastatum* y *Heimia salicifolia* que se encuentran generalizadas en el área.

Posteriormente, desde 1989 hasta el año 1998, funcionó en 2,5 hectáreas un experimento que evaluó distintas frecuencias de pastoreo, con diferentes días de descanso (20, 40, 60 y 80 días), y pastoreo continuo en el resto del área. A partir del año 1998, el área se maneja en pastoreo rotativo con períodos de ocupación y descanso variables.

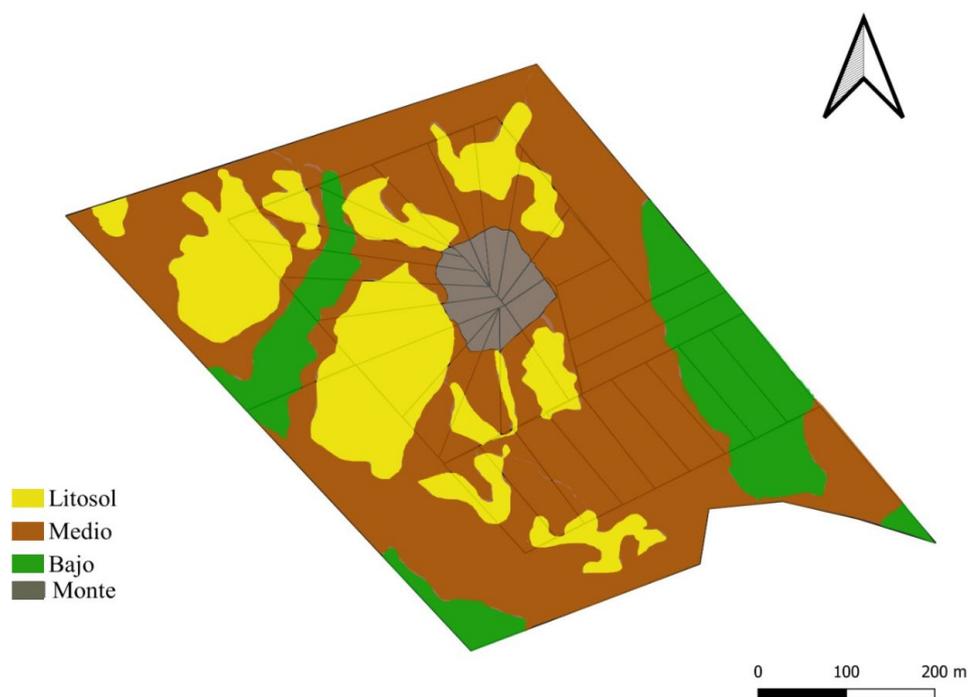
En el año 2022, comienza el presente experimento de evaluación de métodos de pastoreo (continuo y rotativo) a dos niveles de ofertas de forraje, las cuales son ajustadas mensualmente.

#### 4.1.4. Clasificación de zonas de estudio

El área se clasificó en tres grandes zonas: Litosol, Medio y Bajo, según suelos con características similares (Figura 4), tomando como base el mapa de suelos de la EEMAC (F. Casalás, comunicación personal, 16 de marzo, 2023) a escala 1:5000, imágenes satelitales de Google (2024), y finalmente, en concordancia con lo apreciado visualmente a campo (características del tapiz).

#### Figura 4

*Mapa con la clasificación de zonas en estudio*



*Nota.* Elaborado utilizando el programa QGis versión 3.26.3 Buenos Aires a partir del mapa de suelos de la EEMAC (F. Casalás, comunicación personal, 16 de marzo, 2023) e imágenes satelitales de Google (2024) en las coordenadas 402718.19 m E y 6415840.98 m S.

#### 4.1.5. Diseño experimental y descripción de los tratamientos

En un experimento con arreglo factorial 2x2 se evalúan dos métodos de pastoreo, Continuo y Rotativo a dos niveles de oferta de forraje (OF), Alta y Baja, generando cuatro tratamientos de la combinación de los niveles de los factores: Continuo Alta (CA), Continuo Baja (CB), Rotativo Alta (RA) y Rotativo Baja (RB). Los tratamientos fueron asignados al azar entre las parcelas.

El nivel de OF (kg MS/100 kg PV) Alta mantiene 8% en otoño - invierno, y 12% en primavera – verano.

El nivel de OF (kg MS/100 kg PV) Baja mantiene 4% en otoño - invierno, y 8% en primavera – verano.

La cantidad de animales en pastoreo por tratamiento es definida a través del ajuste de la OF objetivo y disponibilidad promedio de materia seca, mediante la técnica “*put and take*” (Mott & Lucas, 1952) de forma mensual con pesaje de los animales experimentales, en ayuno de 10 a 12 horas.

El ajuste se realizó a inicio, mediados y fin de la estación de otoño, previo al invierno. A mitad de estación, las OF se ajustaron con la salida de animales que se consideraban muy pesados y de avanzada edad, y entrada de animales más jóvenes, de peso vivo (PV) promedio menor que los anteriores.

#### 4.1.6. Animales experimentales

Los animales utilizados son novillos de raza Holando. Los "tester" permanecen siempre dentro del experimento, y los restantes volantes ingresan o salen de los tratamientos para ajustar los niveles de OF.

El peso vivo (PV) promedio de los "tester" a inicio del período de evaluación, para cada tratamiento, fue: 360 kg PV (Continuo Alta), 370 kg PV (Continuo Baja), 370 kg PV (Rotativo Alta) y 400 kg PV (Rotativo Baja).

#### 4.1.7. Manejo del pastoreo

En los pastoreos Continuos, los animales permanecen en el área de las parcelas durante todo el período, sin períodos de descanso para la pastura.

En los pastoreos Rotativos, los animales rotan entre las parcelas.

Al inicio del experimento, fuera del período de evaluación, se planteó que los animales pastorearan cada parcela en orden consecutivo durante 3–5 días, de media, dejando períodos de descanso de 40–60 días, con ciclos de pastoreo de 43 a 65 días. Sin embargo, en verano - otoño, no fue posible por las condiciones climáticas imperantes, que determinaron limitada disponibilidad de forraje en algunas parcelas, alterando el orden de rotación, los períodos de ocupación y descanso.

El período evaluado involucró dos ciclos de pastoreo para cada Rotativo (Tabla 2), donde en el Rotativo de Alta no fueron pastoreadas dos parcelas, mientras que en el de Baja, fueron pastoreadas todas las parcelas.

**Tabla 2**

*Caracterización de los ciclos de pastoreo involucrados en el período de evaluación*

<b>Rotativo Alta</b>			
Ciclo	Período	Duración (días)	Ocupación promedio por parcela (días)
1	1/2 al 5/4	63	5
2	5/4 al 20/6	76	6
<b>Rotativo Baja</b>			
Ciclo	Período	Duración (días)	Ocupación promedio por parcela (días)
1	3/3 al 21/4	49	3 – 4
2	21/4 al 20/6	60	4

#### 4.1.8. Balance hídrico

El agua almacenada en el suelo durante el período de evaluación fue estimada realizando un balance hídrico decádico, basándose en la metodología de Thornthwaite y Mather (1957). El balance se presenta desde inicio de ejercicio 22/23, previo a iniciar la actual evaluación.

El método tiene como entradas la precipitación acumulada (PP), la evapotranspiración potencial (ETp) y la capacidad de almacenaje de agua disponible (CAAD) en el perfil de suelo.

En cuanto al suelo en estudio, corresponde al grupo CONEAT 11.3, cuyo contenido de agua potencialmente disponible neta del suelo estimada es 86 milímetros, y se categoriza como moderadamente alta (Molfino, 2009).

Para el cálculo se consideraron los datos meteorológicos de la Estación Meteorológica automática de la EEMAC, incluyendo la ETp, PP acumulada, y la evapotranspiración del cultivo (ETc) obtenida corrigiendo el valor de evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>0</sub>) por el coeficiente de cultivo (Kc), el cual se aproximó a 1.

## 4.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología consistió en el seguimiento del experimento con mediciones de las alturas de forraje y masa de forraje a partir de cortes de jaulas, estimación de la composición botánica del aporte de materia seca, y pesadas de los animales.

### 4.2.1. Determinaciones en la pastura

#### 4.2.1.1. Altura de forraje

La altura del forraje se midió con regla graduada, registrando la altura de la lámina verde más alta que contactaba sobre la regla (Barthram, 1986), sin considerar las láminas que se encontraban sobre vástagos florales.

En los tratamientos de pastoreo Continuo, se clasificaron por zona cada una de las transectas fijas utilizadas para las mediciones, mediante observación a campo (Anexo A).

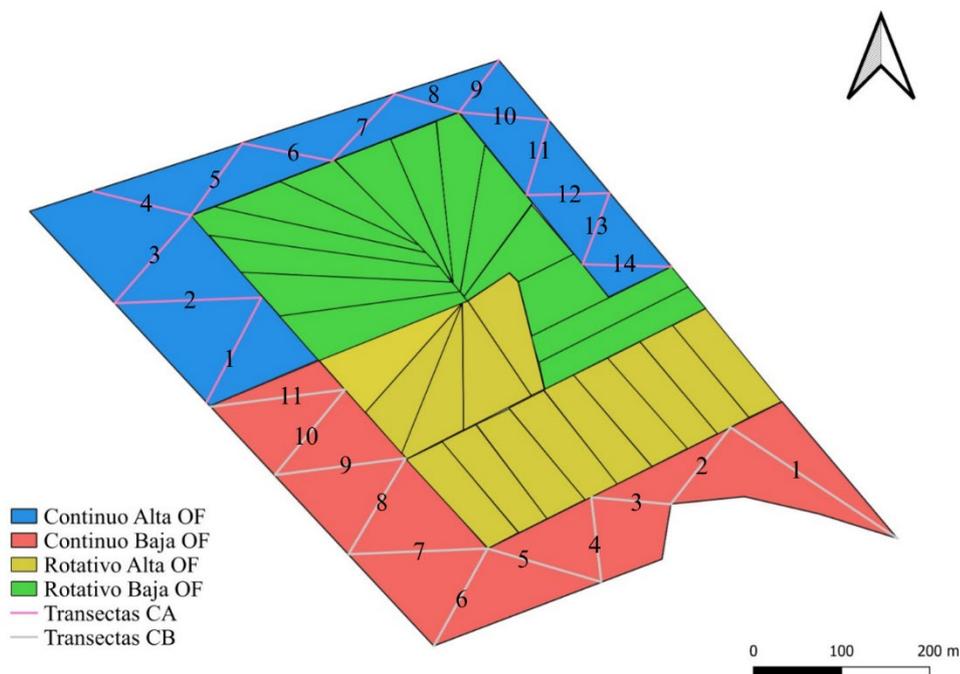
En los tratamientos de pastoreo Rotativo, se clasificaron por zona cada una de las parcelas, asociando cada una de las mismas a la zona predominante en el área (Anexo B).

En los pastoreos Continuos, se distribuyeron entre 280 – 300 puntos de medición en 14 transectas fijas para el tratamiento CA, y en 11 transectas fijas para el tratamiento CB (Figura 5), en las siguientes fechas: 15/3, 30/3, 13/4, 3/5, 23/5 y 24/6; agrupadas por zonas según la observación a campo (Anexo A). El recorrido por las transectas se realizó comenzando y finalizando siempre en el mismo punto, a fin de mantener el sentido del monitoreo y la evolución de alturas por zona estudiada.

En los pastoreos Rotativos, se distribuyeron homogéneamente 20 puntos en cada una de las 14 parcelas, sumando un total de 280 puntos por tratamiento (RA y RB). Las parcelas se agruparon por zona, asociando cada una de las mismas a la zona predominante en el área (Anexo B). Las mediciones completas (abarcando las 14 parcelas) de estos tratamientos se realizaron en las fechas: 15/3, 30/3, 13/4, 3/5, 22/5, 6/6 y 21/6. En las fechas 29/5 y 12/6, a efectos de iniciar, para las siguientes evaluaciones, un mejor control de alturas de disponible y remanente, se incluyeron mediciones de la parcela ocupada, la parcela previamente pastoreada, y dos parcelas sucesivas de entrada.

**Figura 5**

*Croquis del experimento incluyendo el recorrido de transectas fijas para los tratamientos Continuos*



*Nota.* Elaborado utilizando el programa QGis versión 3.26.3 Buenos Aires.

#### 4.2.1.2. Tasa de crecimiento y materia seca presente

La materia seca presente se estimó mensualmente utilizando los cortes de MS en jaulas de exclusión al pastoreo distribuidas en los tratamientos Continuos, en 7 y 8 jaulas, en el de OF Alta y OF Baja, respectivamente. La ubicación de las jaulas abarcó todas las diferentes zonas en el área de estudio (Anexo C).

Los cortes se realizaron en las fechas: 15/3, 26/4, 27/5 y 28/6.

En cada ubicación de jaula se seleccionan dos sitios considerados similares por materia seca (MS) presente estimada visualmente y composición botánica, siendo uno de los sitios donde se colocaba la jaula, y el otro sitio de área en pastoreo.

En cada sitio se colocó un aro de 38,5 cm de diámetro, abarcando un área 0,12 m<sup>2</sup>, donde se registraron 5 puntos de altura y en uno de ellos se cortó el forraje a ras del suelo con tijera de aro.

Después de los cortes, las jaulas eran recolocadas en un nuevo punto, pretendiendo sea similar a los anteriores cortados, tanto en ubicación como en composición botánica. En el sitio no cortado se colocaba la jaula que permanece hasta la próxima medición. Posteriormente, en cada momento de medición, se medía la altura de la pastura y se cortaba la materia seca presente dentro de las

jaulas. Para recolocar la jaula se seleccionaba un nuevo punto, similar a los anteriores, repitiendo las determinaciones en los dos sitios.

Las muestras cortadas fueron secadas en estufa a 60 °C durante 48 horas y pesadas en balanza electrónica graduada en gramos (g). Finalmente, los resultados se expresaron en kg MS/ha.

Al realizar un testeo previo de los resultados, los análisis de regresión entre altura y masa de forraje (kg MS/ha) no resultaron significativos, y la superposición de los intervalos de confianza para la media, incurrieron en utilizar un promedio para las fechas y zonas estudiadas. Por este motivo, se optó por tomar la relación kg MS/cm.

Para estimar la masa de forraje presente, una vez obtenida la relación, se sustituye la variable incógnita por la altura media de las parcelas.

En cuanto a la tasa de crecimiento diaria (kg MS/ha/día), no obtenida en el trabajo, se resta la masa de forraje (kg MS) presente en la jaula en el momento anterior, a la actual masa de forraje presente, dividiendo el resultado entre los días transcurridos entre cortes sucesivos.

#### 4.2.1.3. Composición de la masa de forraje disponible

Ésta fue estimada en una única fecha, 23/5, para todos los tratamientos utilizando el método BOTANAL (Tothill et al., 1992). El procedimiento permite combinar la composición de especies o grupos de especies con la cantidad de MS presente, permitiendo descomponer el aporte de forraje en componentes principales.

El muestreo consistió en la estimación por apreciación visual de la proporción de 24 grupos de componentes (Anexo D), siendo especies clasificadas por su hábito de vida, ciclo de crecimiento y tipo productivo, especies particulares (estudiadas independientemente por su interés), y restos secos. Los valores de proporción se asignan de acuerdo con códigos preestablecidos, que consideran la partición hasta en 5 componentes, sumando en torno a 100% (Anexo E).

Se realizaron 60 muestras en cada tratamiento. La unidad de muestreo fue el mismo aro de 38,5 cm de diámetro utilizado en los cortes de forraje.

En los pastoreos Continuos, fueron distribuidas homogéneamente sobre las transectas fijas utilizadas para la medición de altura de forraje. Luego, cada unidad de muestreo fue clasificada según la zona a la que pertenecía, promediando las muestras, a fin de obtener dos repeticiones para cada una de las zonas.

En los pastoreos Rotativos, se tomaron 10 muestras por parcela, en 6 parcelas elegidas previamente por su representatividad de las zonas en estudio, abarcando dos parcelas (repeticiones) para cada zona.

Una vez realizada la medición, se estimó el aporte de MS (kg MS/ha) de cada componente en la masa total de forraje (kg MS/ha), para cada tratamiento y zona en estudio, mediante planilla de cálculo Excel.

#### 4.2.1.4. Variables calculadas

##### 4.2.1.4.1. Forraje disponible

La disponibilidad promedio para cada fecha de medición se obtuvo a partir del resultado de MS presente sumando el crecimiento de forraje (TC) acumulado para un período de 15 días, dados que los datos de tasa decrecimiento fueron tomados a esa frecuencia.

La tasa de crecimiento (TC) para cada fecha se obtuvo a partir del Modelo de Eficiencia (Kumar & Monteith, 1981), utilizando información proveniente del satélite Sentinel 2 sobre una grilla de 50 puntos por cada tratamiento (Anexo F).

##### 4.2.1.4.2. Oferta de forraje real

La relación entre el forraje disponible promedio diario (kg MS/ha) y la carga animal (kg PV/ha), presupuestada a 30 días, permitió obtener el valor de OF real a la cual se condujo el experimento en cada fecha de medición de alturas.

#### 4.2.2. Determinaciones en los animales

##### 4.2.2.1. Peso vivo

Los animales se pesaron mensualmente en las siguientes fechas: 15/3, 11/4, 16/5 y 23/6. Cabe destacar que, en las dos primeras mediciones no se realizó período de ayuno. De todos modos, hay que considerar que se pesaban luego de un recorrido de 2,6 km hasta las instalaciones.

En las dos últimas mediciones, además del recorrido de caminata, tuvieron ayuno previo; siendo encerrados en la tarde, y pesados al amanecer.

##### 4.2.2.2. Carga animal

La carga animal media se obtuvo para cada tratamiento en cada período sumando la cantidad total de kg PV presentes, dividido el área similar para cada tratamiento. Los resultados se expresaron en kg PV/ha.

#### 4.2.2.3. Carga animal instantánea

Esta variable se obtuvo para los tratamientos Rotativos, de igual forma que el ítem 4.2.2.2., expresando la carga animal presente en cada parcela en pastoreo, tomando un área similar de 0,67 ha para cada una de ellas.

#### 4.2.2.4. Variables calculadas

##### 4.2.2.4.1. Ganancia media diaria

La ganancia media diaria (GMD) fue calculada para cada tratamiento por diferencia del peso vivo promedio de los "testers" al inicio y fin de todo el período de evaluación, ponderado por la cantidad de días transcurridos. Los resultados se expresaron en kg PV/animal/día.

##### 4.2.2.4.2. Ganancia por hectárea

Previamente, se estimó la carga media (animales/día) para cada sub-período entre fechas de pesadas de los animales, sumando el peso total de todos los animales, y dividiendo este resultado por el peso vivo promedio de los "testers" en cada tratamiento (Anexo G).

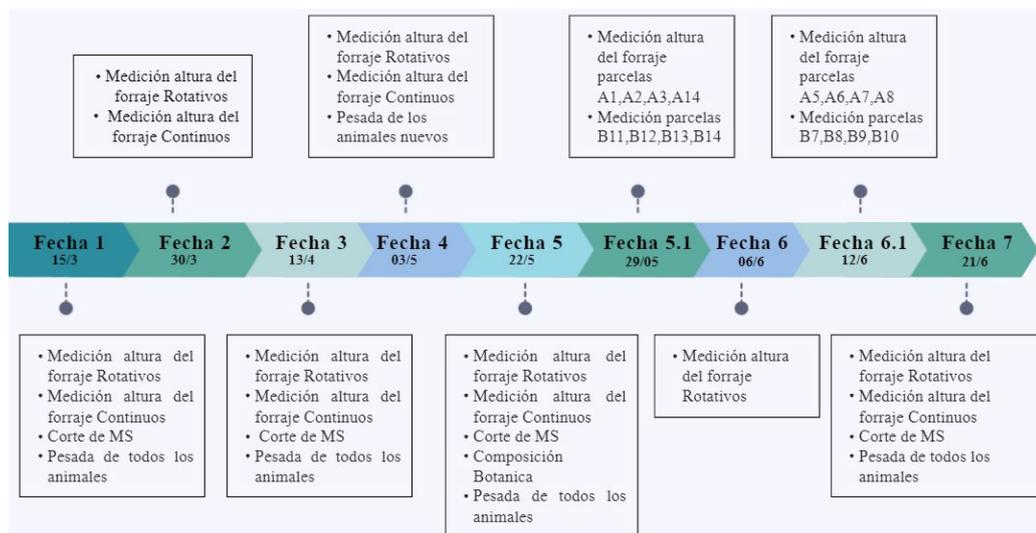
Las ganancias por hectárea (G/ha) se obtuvieron multiplicando la GMD, obtenida para los "testers" en el ítem 4.2.2.4.1. para cada sub-período, por la carga media (animales/día/ha) de cada uno ellos en cada tratamiento, y finalmente, sumando el sub-total de cada sub-período.

### 4.2.3. Período, sub-períodos y fechas de mediciones

En la Figura 6, se presenta en orden cronológico las determinaciones realizadas durante el período de evaluación.

#### Figura 6

*Orden cronológico y detalle de las mediciones realizadas durante el período de evaluación*



### 4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 4.3.1. Variables de la pastura

El modelo estadístico para el análisis asociado a la pastura, correspondiente a un diseño completamente aleatorizado, es:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + O_j + Z_k + (MO)_{ij} + (MZ)_{ik} + (OZ)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo:

$Y_{ijk}$ : Variable aleatoria dependiente

$\mu$ : Efecto de la media general

$M_i$ : Efecto del i-ésimo nivel de método de pastoreo

$O_j$ : Efecto del j-ésimo nivel de oferta de forraje

$Z_k$ : Efecto del k-ésimo nivel de la zona

$(MO)_{ij}$ : Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de método y el j-ésimo nivel de oferta de forraje

$(MZ)_{ik}$ : Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de método y el k-ésimo nivel de zona

$(OZ)_{jk}$ : Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de oferta y el k-ésimo nivel de zona

$\varepsilon_{ijk}$ : Error experimental entre  $ijk$

El estudio de la interacción triple no se incluyó en el modelo, ya que no fue significativa para la variable altura (Anexo H) y los resultados del método BOTANAL (Tothill et al., 1992); a excepción de algún caso, pero que no se consideró agronómicamente importante (Anexo I). De esta manera, se elimina la interacción del modelo, permitiendo aumentar los grados de libertad para el error experimental.

Para la variable altura, en primera instancia, se ajustaron modelos de regresión para la media y el desvío estándar, agrupando la información por fecha, tratamiento y zona. Además, mediante el paquete estadístico InfoStat, se realizaron gráficos de cajas (*box – plot*) para visualizar la distribución de la frecuencia de los datos, estudiando el comportamiento de la mediana, media, los cuantiles (0,05, 0,25, 0,75 y 0,95) y presencia de valores extremos.

En los tratamientos Continuos, al no contar con la medición para la fecha 6, se estimó el promedio de las mediciones de las fechas 5 y 7, para posibilitar la comparación con los Rotativos, que sí contaban con la medición completa en esa fecha; no dejando así de considerar en el conjunto de datos todos los registros obtenidos. De esta manera, tanto para el análisis de la evolución de alturas y desvíos

estándar, se asumió comportamiento lineal para los Continuos entre las fechas 5 y 7.

Por otro lado, la comparación de alturas entre tratamientos se efectúa a través de la media, si bien se tiene presente que podría afectarse (subestimarse o sobreestimarse) por la presencia de valores muy extremos, perdiendo representatividad.

También, para comparar la altura entre tratamientos se realizó análisis de la varianza (ANAVA), y contrastes de medias por Tukey, utilizando un nivel de significancia de 10%.

La heterogeneidad de estructuras de la pastura, a partir de la variable altura, fue estudiada inicialmente a través de las frecuencias relativas de los registros de altura (cm) por estrato, con intervalos de 4 cm. Posteriormente, se particionó la descripción por zonas de estudio mediante la representación de los registros a través de diagramas de densidad de puntos.

Un nivel de profundización mayor para esta variable se logró mediante el estudio de la heterogeneidad a escala de zonas, mediante la aplicación del Test de Levene a los residuos absolutos de la variable altura, verificando el supuesto de homogeneidad de varianzas (Barnes et al., 2008).

Para la composición de la materia seca disponible, determinada mediante el método BOTANAL (Tothill et al., 1992) se realizaron técnicas de análisis multivariado mediante componentes principales y conglomerados, a través de las interacciones entre los factores involucrados, para identificar la asociación entre los grupos botanales que explican el aporte de MS (%).

El análisis de componentes principales se realizó a partir de los datos estandarizados de la proporción (%) de cada grupo botanal a la MS disponible; siendo tomadas como variables de clasificación el método de pastoreo y el nivel de OF.

El análisis de conglomerados se realizó a partir de los datos estandarizados de la proporción (%) de cada grupo botanal en la MS disponible, utilizando el método de agrupamiento promedio de los jerárquicos y tipo de distancia Euclídea; incluyendo como variables de clasificación el método de pastoreo, el nivel de OF y la zona del potrero.

Por otro lado, se realizó ANAVA y contrastes de medias por Tukey, utilizando un nivel de significancia del 10%, tanto para el aporte en proporción (%) como para la masa de forraje (kg MS/ha) por grupo botanal. En primer lugar, se analizaron los resultados significativos a nivel de interacción entre factores, y posteriormente, a nivel de factor individual, si no había respuesta significativa para la interacción.

#### 4.3.2. Variables animales

El modelo estadístico para el análisis asociado a los animales, correspondiente a un diseño completamente aleatorizado, incluyendo covariable de peso vivo al inicio centrada, es:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + O_j + (MO)_{ij} + \beta_1 (PVI_{ijk} - \overline{PVI}) + \varepsilon_{ij}$$

Siendo:

$Y_{ijk}$ : Variable aleatoria dependiente

$\mu$ : Efecto de la media general

$M_i$ : Efecto del i-ésimo nivel de método de pastoreo

$O_j$ : Efecto del j-ésimo nivel de oferta de forraje

$(MO)_{ij}$ : Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de método y el j-ésimo nivel de oferta de forraje

$\beta$ : Coeficiente de regresión de la co-variable PV al inicio centrada

$\varepsilon_{ij}$ : Error experimental para ij

Las ganancias medias diarias de los animales se analizaron a través de ANAVA y prueba de comparación de medias mediante Tukey con nivel de significancia al 10%.

#### 4.4. HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS

##### 4.4.1. Modelo estadístico asociado a la pastura

Las hipótesis estadísticas correspondientes son:

Hipótesis referidas al efecto principal método de pastoreo:

$$H_0: M_C = M_R$$

$$H_a: M_C \neq M_R$$

Hipótesis referidas al efecto principal nivel de oferta de forraje:

$$H_0: O_A = O_B$$

$$H_a: O_A \neq O_B$$

Hipótesis referidas al efecto principal de la zona:

$$H_0: Z_L = Z_M = Z_B$$

$$H_a: Z_L \neq Z_M \neq Z_B$$

Hipótesis referidas al efecto interacción método de pastoreo y nivel de oferta de forraje:

$$H_0: (MO)_{ij} = (MO)_{ij}$$

$$H_a: (MO)_{ij} \neq (MO)_{ij}$$

Hipótesis referidas al efecto interacción método de pastoreo y zona:

$$H_0: (MZ)_{ij} = (MZ)_{ij}$$

$$H_a: (MZ)_{ij} \neq (MZ)_{ij}$$

Hipótesis referidas al efecto interacción zona y nivel de oferta de forraje:

$$H_0: (ZO)_{ij} = (ZO)_{ij}$$

$$H_a: (ZO)_{ij} \neq (ZO)_{ij}$$

En la Tabla 3, se presentan las fuentes de variación y grados de libertad asociados a los modelos estadísticos relacionados a la pastura, para la variable altura (cm) y aporte de masa de forraje de cada grupo botanal (kg MS/ha).

**Tabla 3**

*Composición de los g.l. para el modelo estadístico asociado a la pastura*

Fuente de variación	Alturas	Aporte MS
	g.l.	g.l.
Zona	2	2
Método	1	1
OF	1	1
MxOF	1	1
MxZ	2	2
OFxZ	2	2
EE	43	14
TOTAL	52	23

#### 4.4.2. Modelo estadístico asociado a los animales

Las hipótesis estadísticas correspondientes son:

Hipótesis referidas al efecto principal método de pastoreo:

$$H_0: M_C = M_R$$

$$H_a: M_C \neq M_R$$

Hipótesis referidas al efecto principal nivel de oferta de forraje:

$$H_0: O_A = O_B$$

$$H_a: O_A \neq O_B$$

Hipótesis referidas al efecto interacción método de pastoreo y nivel de oferta de forraje:

$$H_0: (MO)_{ij} = (MO)_{ij}$$

$$H_a: (MO)_{ij} \neq (MO)_{ij}$$

En la Tabla 4 se presentan las fuentes de variación y grados de libertad asociados al modelo estadístico relacionado al desempeño individual de los animales (kg PV/a/día).

**Tabla 4**

*Composición de los g.l. para el modelo estadístico asociado a los animales*

<b>Fuente de variación</b>	<b>g.l.</b>
M	1
OF	1
MxOF	1
COV	1
EE	20
TOTAL	24

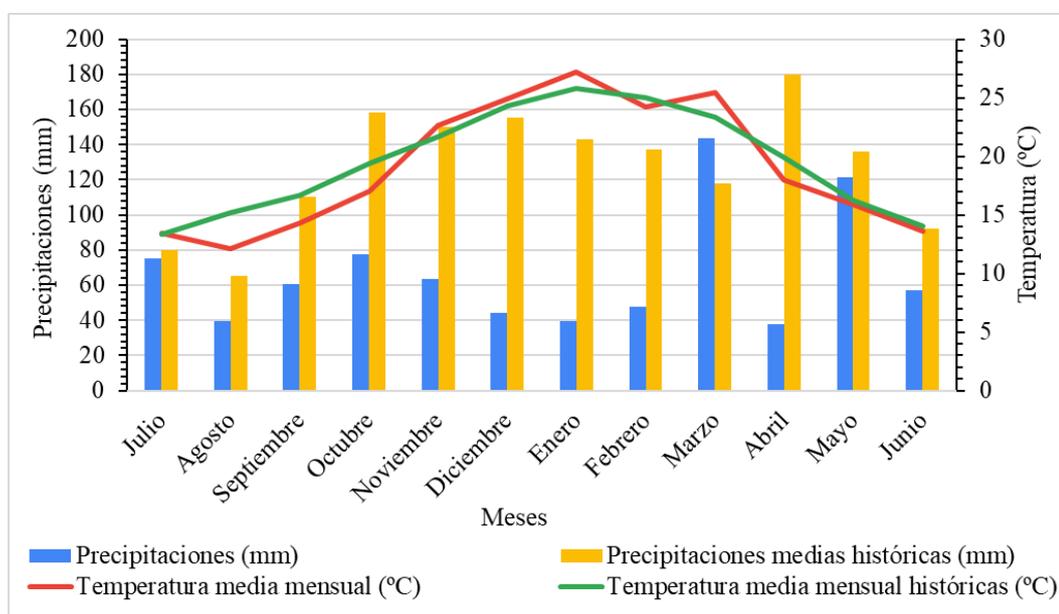
## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. DATOS METEOROLÓGICOS

A continuación, se presenta un análisis de las precipitaciones y temperatura en el ejercicio 2022-2023 (Figura 7) con datos de la Estación Meteorológica automática de EEMAC (F. Casalás, comunicación personal, 15 de enero, 2024) en comparación con las precipitaciones medias históricas mensuales para la localidad de Paysandú desde 1991 a 2020 tomadas del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, 2024).

**Figura 7**

*Precipitaciones y temperaturas en el ejercicio 2022/23, y su comparación con las medias históricas*



*Nota.* Elaborada a partir de datos meteorológicos tomados de INUMET (2024) y de la Estación Meteorológica automática de EEMAC (F. Casalás, comunicación personal, 15 de enero, 2024).

Las precipitaciones fueron inferiores a la media histórica durante todo el período, acercándose sólo en marzo y mayo del año 2023. Esta situación, previo al inicio de la evaluación, determinó una importante sequía en todo el territorio uruguayo.

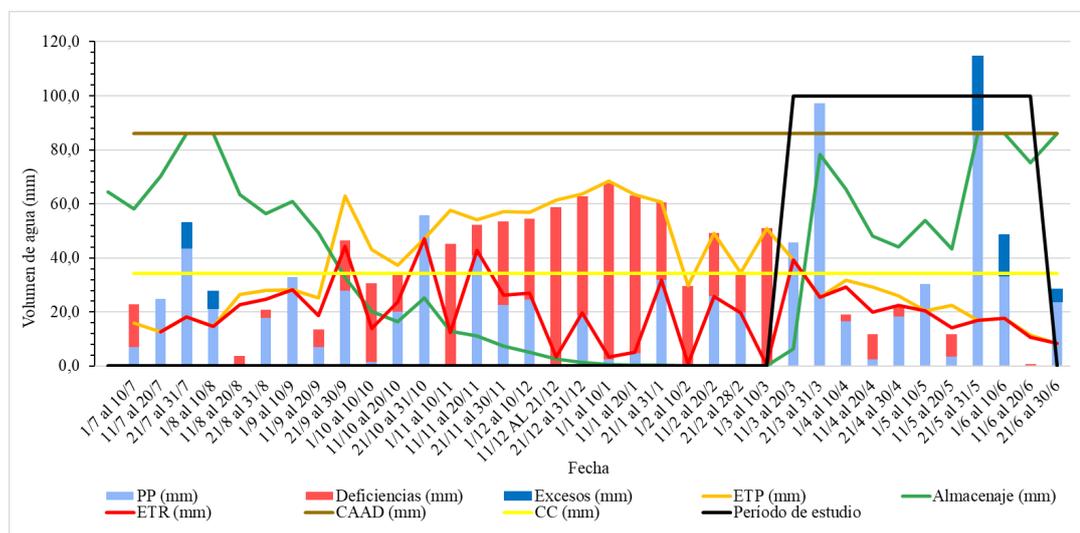
En cuanto a la temperatura, se observa un comienzo de ejercicio con temperaturas bajas en invierno y comienzo de primavera, pero con aumentos en el período estival, con temperaturas medias mensuales que superan el promedio histórico; provocando fuertes pérdidas de humedad por evapotranspiración.

Si bien la evaluación comprendió los meses de marzo y junio, debe tenerse en cuenta que las temperaturas y precipitaciones, son los principales factores que

provocan alteraciones en el ambiente; influyendo en la productividad primaria y secundaria.

### Figura 8

*Balance hídrico decádico para el ejercicio 2022/23 detallando el período de estudio*



El balance hídrico (Figura 8) previo al comienzo del experimento, setiembre de 2022 a marzo de 2023, evidenció el nivel de agua disponible (almacenaje) por debajo de la capacidad de campo (CC), siendo ésta un 40% de la máxima capacidad de almacenaje del suelo.

Al iniciar las mediciones, ocurrieron precipitaciones importantes que elevaron el agua disponible en el perfil de suelo, el cual recién logra saturarse culminando el período de evaluación. Estos excesos se observan diez meses después desde los últimos registrados.

## 5.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA PASTURA

### 5.2.1. Análisis estadístico descriptivo

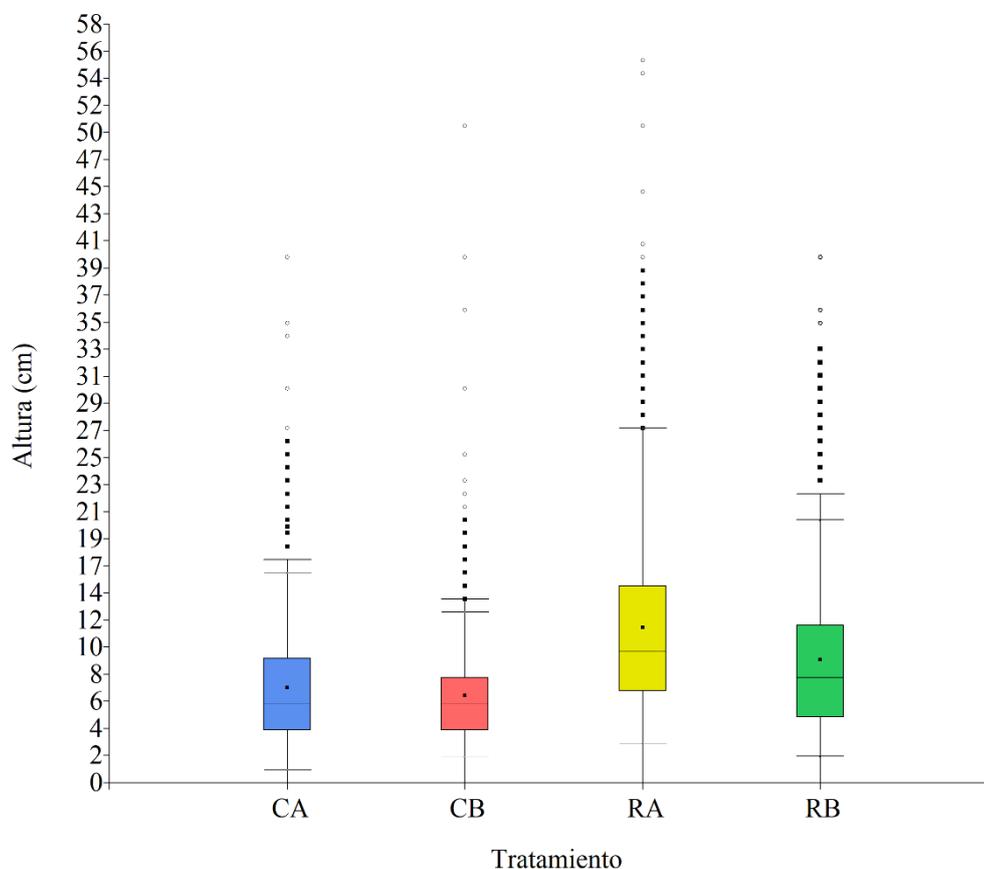
#### 5.2.1.1. Altura

En el presente capítulo, se realiza una descripción del comportamiento de las alturas en cada tratamiento, por fecha de medición completa (abarcando el total del área del experimento), y por las zonas en estudio.

A modo de representar la distribución de las alturas medidas para cada tratamiento considerando todo el período, en la Figura 9 se presentan los gráficos de cajas (*box - plot*).

**Figura 9**

*Gráficos de cajas (box – plot) para las alturas promedio por tratamiento para el período*



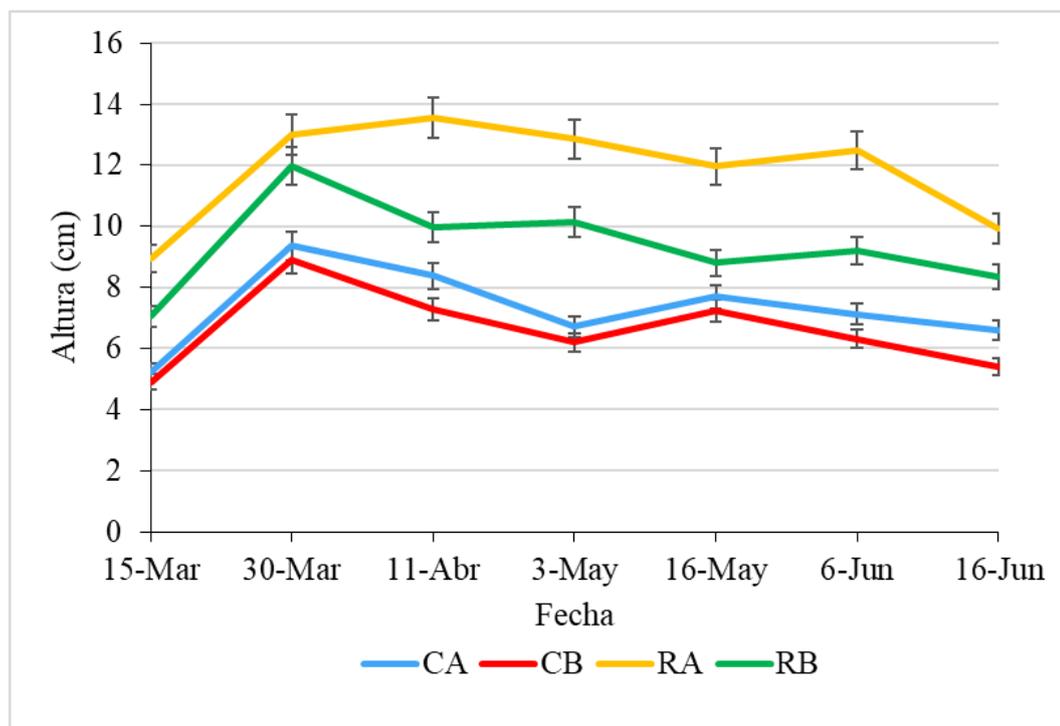
En el gráfico de cajas (Figura 9) se observa que los Continuos presentan el 50% de los registros en un rango de alturas con una media menor y un rango más acotado, a diferencia de los Rotativos; consecuencia de una menor variación. Esta menor variación se evidencia en la menor amplitud entre los cuantiles 1 y 3, y su distancia respecto a los límites inferior y superior respectivamente, a diferencia de los Rotativos.

En general, para todos los tratamientos, la mayor variación es en el 25% de los registros más altos, siendo esto aún más notorio para los Rotativos. La presencia de valores extremos altos respecto a la media ocurre en todos los tratamientos, y es notoria la aparición de estos registros para el Continuo de Baja.

En vista de la situación hídrica, la evolución de alturas promedio para el período (Figura 10) inicia con valores bajos que aumentan hacia el 30 de marzo, tras las precipitaciones acaecidas en marzo. Desde esta fecha, el promedio de alturas comienza a descender, lo que es coherente, dada la esperable disminución de las tasas de crecimiento hacia otoño-invierno.

**Figura 10**

*Evolución de la altura promedio por tratamiento y fecha de medición completa*



En cuanto al método, los tratamientos Rotativos siempre muestran alturas promedio superiores a los Continuos. En cuanto a la amplitud de la diferencia según el nivel de oferta, los Rotativos de Alta y Baja se diferenciaron más entre sí que los Continuos de Alta y Baja, presentando éstos últimos, comportamientos muy similares; esto último, evidenciado por los errores estándar solapados.

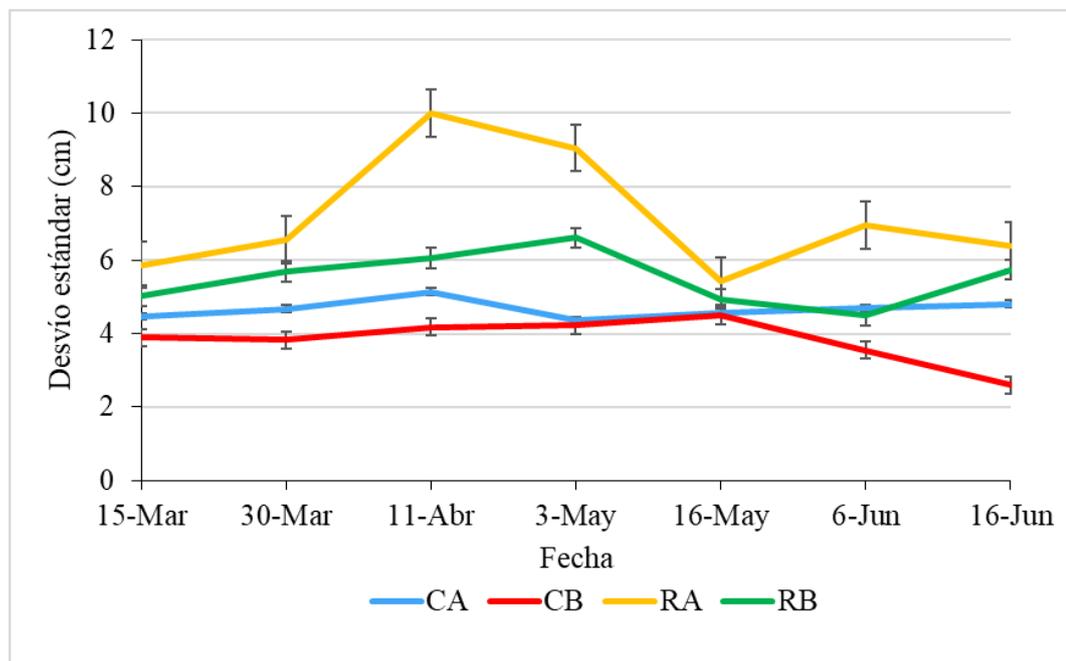
La disminución en la altura promedio hacia el invierno es mayor para el caso de los Continuos, mientras que, en los Rotativos, no ocurre abruptamente. Se resalta el comportamiento más estable que presenta el Rotativo de Alta, frente al resto de los tratamientos, teniendo el mayor promedio de alturas registradas. Por otra parte, el Rotativo de Baja presenta mayor altura promedio que ambos tratamientos Continuos.

Por último, es destacable que el promedio de las alturas, en todos los tratamientos, nunca estuvo por debajo de los 5 cm en el total del período.

A efectos de representar la variación de las alturas promedio por fecha de medición, se construye el gráfico de desvíos estándar (Figura 11).

**Figura 11**

*Desvío estándar de las alturas promedio por tratamiento para cada fecha en el período evaluado*



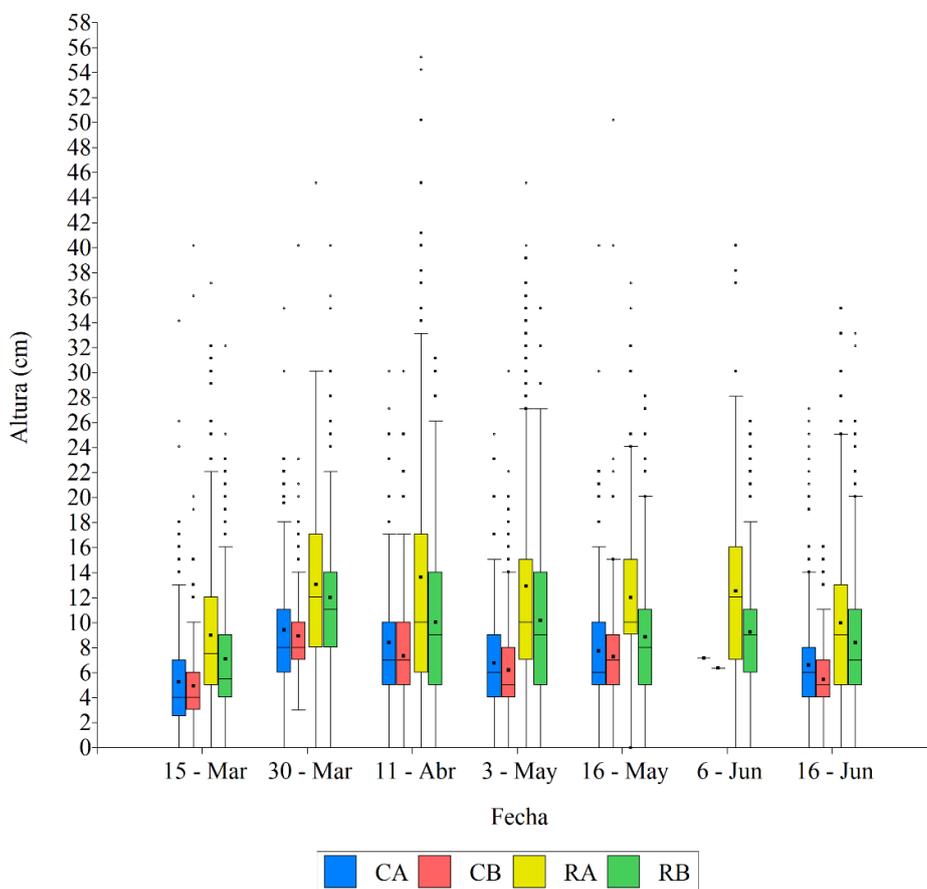
El Rotativo de Alta presenta la mayor dispersión de datos en las fechas 11 de abril y 3 de mayo, coincidiendo con los registros de altura superiores. La notoria desviación en este tratamiento evidenciaría la acumulación de forraje en zonas de alta respuesta productiva, luego de períodos de condiciones climáticas favorables (temperatura y precipitaciones), que fueron subsiguientes a la extrema sequía; aumentando la dispersión de los registros de altura (cm) en algunas parcelas. A esto, se suma el efecto de la menor intensidad de pastoreo respecto al Rotativo de Baja oferta, el cual no permitió expresar el efecto de la dispersión de los registros de altura.

De este modo, se muestra como el nivel de oferta de forraje influye sobre el IAF remanente, determinando la cantidad interceptada de radiación fotosintéticamente activa, y su eficiencia de transformación en producción primaria (Boggiano et al., 2011; Nabinger, 1999). Por ende, intensidades bajas de pastoreo definen IAF remanentes mayores, mayor interceptación de radiación, y finalmente, mayor producción de forraje. Esta diferencia en acumulación de forraje determinada por el nivel de remanente, tiende a mostrar similar respuesta en el caso de los Continuos, pero la magnitud observada es menor. Así, se infiere que el efecto de los períodos de descanso en los Rotativos y los mayores niveles de IAF remanente, promovieron la mejor recuperación de la pastura (Boggiano et al., 2011).

En la Figura 12, se presenta la distribución de alturas para cada tratamiento en cada fecha de medición, mediante gráficos de cajas (*box - plot*).

**Figura 12**

*Gráficos de cajas (box – plot) para las alturas promedio por tratamiento para cada fecha*



Las medias de los Rotativos siempre fueron superiores a las de los Continuos. También, la dispersión de los registros, siendo la amplitud del 50% de mayor para Rotativos respecto a los Continuos. Por otra parte, se evidencia de nuevo para todas las fechas, la presencia de valores extremos para el Continuo de Baja, así como también para el Rotativo de Alta.

La evolución de las alturas promedio muestra la mayor disponibilidad de forraje en los Rotativos respecto a los Continuos para el total de la estación; y así mismo, fueron ambos tratamientos los que ya habían iniciado el período con alturas promedio superiores. Dos Santos et al. (1992), Carrera et al. (1996) y Gaggero et al. (1996) obtuvieron resultados coincidentes en el período otoño - invierno, sosteniendo que los períodos de descanso permitieron acumular y diferir forraje atenuando el déficit invernal.

De esta manera, los mayores registros de altura para los Rotativos, dados los períodos de descanso entre defoliaciones sucesivas y mayores alturas (cm) registradas, permitirían suponer que, a mayor registro de altura, mayor sería el IAF remanente, y, por ende, mayor cantidad de la radiación incidente podría ser interceptada y utilizada para la fotosíntesis, alcanzando una mayor producción de forraje (Ward & Blaser, como se cita en Bryant et al., 1970).

No obstante, no es consistente atribuir solo los efectos al método de pastoreo. En relación con esto, hay suficientes antecedentes internacionales y nacionales que reportan no haber encontrado diferencias en producción de forraje atribuibles al método, sino que la respuesta ha sido determinada por la intensidad de pastoreo (Briske et al., 2008; Di Virgilio, et al. 2019; Heitschmidt et al., 1987a).

La presencia de valores extremos en tapices que, según aparenta, se mantuvieron en condiciones de alturas bajas y uniformes, siendo un caso particular el Continuo de Baja oferta, puede explicarse por la probabilidad de ocurrencia de matas de *Paspalum quadrifarium*; especie rechazada en el pastoreo por su tipo productivo duro (Rosengurtt, 1979), diferenciando, intersticialmente, un doble estrato marcado. Puede notarse como la presencia de los extremos en este tratamiento se desvanece en las últimas fechas de medición, siendo probable la desaparición de éstas por consumo animal ante la disminución del crecimiento y el déficit de forraje hacia el invierno.

## 5.2.1.2. Heterogeneidad espacial

### 5.2.1.2.1. Descripción según el método de pastoreo y nivel de OF

En primer lugar, se presenta la frecuencia de registros de altura (Tabla 5) diferenciando por estratos con un intervalo de 4 cm, para todos los tratamientos, en el total del período evaluado.

La cantidad de registros 0 cm obtenida en el intervalo [0,00; 4,00] fue de 86 (18%) para el Continuo Alta, 66 (13%) para el Continuo Baja, 44 (21%) para el Rotativo Alta y 59 (17%) para el Rotativo Baja; representando un 5, 4, 2 y 3% del total de registros por tratamiento, respectivamente, al incluir todos los intervalos.

**Tabla 5**

*Frecuencias absolutas (FA) y relativas (FR) de la altura (cm) por estratos*

Intervalos		CA		CB		RA		RB		
LI	LS	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	
[	0,00	4,00	485	0,28	520	0,29	214	0,11	348	0,18
(	4,00	8,00	719	0,41	836	0,47	503	0,26	640	0,33
(	8,00	12,00	305	0,18	321	0,18	519	0,27	499	0,25
(	12,00	16,00	142	0,08	79	0,04	336	0,17	266	0,14
(	16,00	20,00	50	0,03	23	0,01	176	0,09	121	0,06
(	20,00	24,00	14	0,01	8	0,0045	71	0,04	37	0,02
(	24,00	28,00	11	0,01	1	0,00056	60	0,03	36	0,02
(	28,00	32,00	4	0,0023	2	0,0011	36	0,02	8	0,0041
(	32,00	36,00	2	0,0012	1	0,00056	20	0,01	4	0,002
(	36,00	40,00	1	0,00058	3	0,0017	15	0,01	1	0,00051
(	40,00	44,00			0	0	1	0,00051		
(	44,00	48,00			0	0	4	0,002		
(	48,00	52,00			1	0,00056	1	0,00051		
(	52,00	56,00			0	0	2	0,001		
(	56,00	60,00			0	0	0	0		

Los tratamientos Continuos obtuvieron mayor cantidad de registros en el estrato de 4–8 cm, mientras que los Rotativos obtuvieron mayor cantidad de registros en estratos superiores, de 4–8 cm, 8–12 cm y 12–16 cm.

En los Rotativos, se destaca la menor cantidad de registros en el estrato 0 – 4 cm, y mayor cantidad de registros en estratos superiores, lo que evidencia una estructura de la pastura de porte superior, con mayor distribución vertical de la masa de forraje. En los Continuos, la mayor cantidad de registros se ubica en el estrato 0–4 cm, no superando los 8 cm, determinando una pastura de porte más postrado, y esperablemente con mayor densidad en el estrato inferior (Federico et al., 1993; Gonçalves et al., 2009).

De acuerdo con Formoso (2005), el pastoreo continuo contribuye al mayor aporte de gramíneas rastreras y otras dicotiledóneas, mientras que el pastoreo rotativo o diferido, promueve gramíneas de porte erecto; por ende, resulta lógico inferir que las diferencias observadas pueden explicarse por la contribución de diferentes grupos funcionales de especies bajo cada método de pastoreo.

Por su parte, el nivel de oferta de forraje no pareció mostrar comportamiento diferencial. Esto puede ser atribuible a la extrema sequía previo al inicio de la evaluación, que podría haber "borrado" las estructuras generadas, sumado a tasas de crecimiento en descenso hacia el invierno, que no posibilitaron expresar aún las respuestas diferenciales en estructura por efecto de la oferta de forraje.

El consumo del animal en pastoreo se relaciona con características cuantitativas de estructura de la pastura, como disponibilidad de forraje o nivel de oferta de forraje, a través de una curva asintótica (Gordon & Illius, Poppi et al., como se cita en Carvalho et al., 2001). Según Poppi et al. (1987), la primera porción ascendente de la curva se regula por factores no nutricionales, con la principal limitante de la capacidad de cosecha del forraje disponible; mientras que, en la porción asintótica, el consumo es regulado por factores nutricionales (digestibilidad, tiempo de retención en rumen, etc.). Hodgson (1985) considera que la regulación inicial del consumo se asocia a la variación en la masa de forraje y distribución en el perfil vertical de los componentes de la pastura. En este sentido, una misma cantidad de masa de forraje puede presentarse en diferentes combinaciones de altura y densidad, pudiendo determinar para un mismo nivel de oferta de forraje, diferentes niveles de producción animal (Carvalho, 1997). En concreto, la estructura de la pastura (altura y densidad) afecta el patrón de defoliación y la oportunidad de selección.

Teniendo en cuenta que las características de la estructura de la pastura pueden limitar el uso del forraje ofertado (Carvalho et al., 2001; Da Silva & Carvalho como se cita en Da Trindade et al., 2016), es importante considerar este aspecto en los resultados esperables a nivel de comportamiento del animal en pastoreo, y finalmente en el desempeño individual obtenido.

La altura para los animales en pastoreo puede representar la cantidad de forraje disponible, y la preferencia por la altura implica la oportunidad de un mayor consumo; en este sentido, alturas mayores incrementan la profundidad del bocado, una de las principales variables determinantes del peso de bocado (Carvalho et al., 2001).

Gonçalves et al. (2009) determinaron que, manteniendo una altura de 8 cm, la fracción de tallos se concentró en el estrato de 0 a 4 cm, mientras que desde 4 a 8 cm, la participación fue casi exclusivamente de láminas. Alturas superiores (12 cm y 16 cm) determinaron participación sólo de láminas en los estratos más altos, con una densidad (kg MS/ha) cada vez menor. Si bien esto puede implicar mayor probabilidad de consumo de láminas, la dificultad en la aprehensión y el menor peso de bocado pueden no ser compensados por aumentos en la tasa de bocados, deprimiendo la tasa de consumo, y finalmente la performance animal. En conclusión, los autores sostienen que las alturas óptimas para maximizar el consumo se encuentran en el estrato 8 – 12 cm.

En los tratamientos Continuos, los registros se concentraron en un estrato inferior al óptimo para el consumo de 8 –12 cm sugerido por Gonçalves et al. (2009). Por lo tanto, la cantidad de forraje pudo haber limitado el consumo, por aumento en la tasa de bocado y tiempo en pastoreo asociado a una mayor búsqueda del alimento.

En los Rotativos, si bien la mayor cantidad de registros estuvo en el estrato de altura óptimo (Gonçalves et al., 2009), otra gran proporción se distribuyó en estratos más altos. Esto podría haber disminuido la tasa de consumo en las primeras sesiones de pastoreo, al momento de entrada en las parcelas por mayor tiempo de búsqueda y aprehensión cuando la altura era mayor a 16 cm.

En los Continuos es esperable que la pastura se presente de mayor calidad (mayor proporción de láminas y menor acumulación de material muerto, es decir, alta palatabilidad y bajo contenido de fibra), que la heterogeneidad espacial horizontal se incremente por presencia de "parches" preferidos y no preferidos, y por ende, la oportunidad de selección bajo este método se favorezca; siendo aspectos que pueden haber contribuido a una mejor calidad de la dieta, repercutiendo en mejor respuesta animal individual (Laca, 2011).

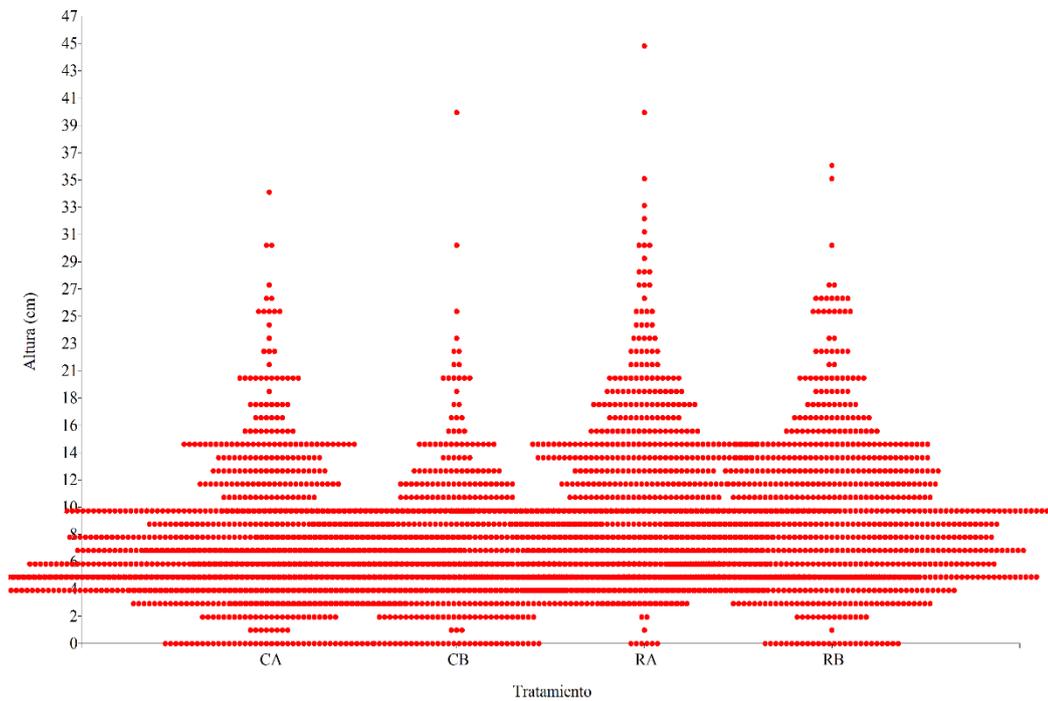
La heterogeneidad horizontal de la estructura de la pastura es un aspecto menos abordado, pero importante en todas las escalas de la interacción planta – animal, desde la distribución, tamaño y arquitectura de plantas, tamaño y distribución de bocados, y patrones de pastoreo (Marriot & Carrère como se cita en Carvalho et al., 2001). La defoliación selectiva del animal con el pasar del tiempo, genera diferentes estructuras, y a su vez, estas estructuras determinan la selectividad del animal en pastoreo (Carvalho et al., 2001).

En el período evaluado, en los Continuos, no fue detectada alta frecuencia de registros en estratos altos, mayores a 16 cm; permitiendo inferir que tampoco existió un doble estrato fuertemente marcado, con presencia de maciegas que puedan incrementar el tiempo en pastoreo por mayor tiempo de búsqueda y aprehensión, y por ende, disminuir la tasa de consumo (Bremm et al., 2012).



**Figura 14**

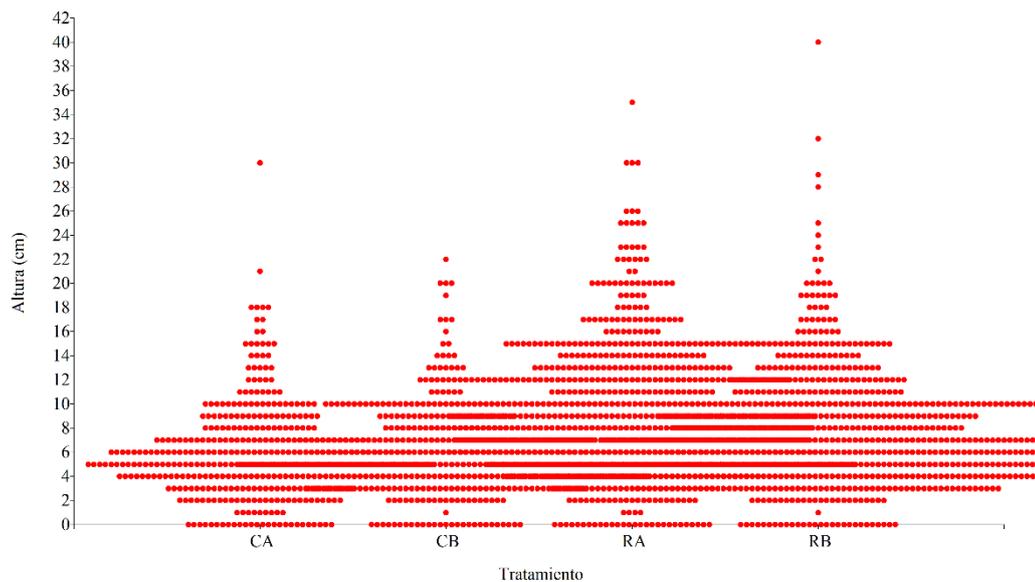
*Diagrama de densidad de puntos por tratamiento para la zona Media*



En la zona Media (Figura 14), no se observan diferencias en la estructura de la pastura, ya sea por el método o por el nivel de oferta, encontrando la mayor concentración de registros entre 2 a 14 cm para todos los tratamientos.

**Figura 15**

*Diagrama de densidad de puntos por tratamiento para zona de Litosol*



En la zona de Litosol (Figura 15), las alturas tienden a diferenciarse por efecto del método de pastoreo; con mayores alturas en los Rotativos. Dentro de los niveles de oferta, el comportamiento fue similar. La estructura de la pastura en los

Continuos se concentra en el estrato de 2 a 10 cm, y en los Rotativos, entre 2 a 16 cm.

Finalmente, se destaca la menor aparición de registros de altura 0 cm (registro que representa, principalmente, suelo descubierto, material muerto y/o presencia de heces) para la zona de Bajo en todos los tratamientos, respecto a la zona Media y Litosol; lógicamente atribuible a la mayor producción y acumulación de forraje en esta zona de alta productividad, por condiciones edáficas y composición botánica, la cual se detallará en capítulo posterior.

En la Tabla 6 se presenta la altura promedio, desvío estándar y coeficientes de variación (CV) en porcentaje por tratamiento según la zona y fecha de medición.

**Tabla 6**

*Altura promedio, desvío estándar y coeficiente de variación (%) por tratamiento y zona para cada fecha de evaluación*

Fecha	Zona	Tratamiento											
		CA			CB			RA			RB		
		Altura (cm)	Desvío estándar	CV (%)	Altura (cm)	Desvío estándar	CV (%)	Altura (cm)	Desvío estándar	CV (%)	Altura (cm)	Desvío estándar	CV (%)
15-Mar	Bajo	4,2	3,3	77,8	5,2	5,5	105,5	15,1	7,5	49,7	14,5	6,1	42,0
	Litosol	3,5	2,3	66,2	4,4	2,2	51,2	7,3	3,8	52,8	5,5	3,3	60,5
	Medio	6,3	5,1	81,8	5,0	3,9	77,3	7,3	4,1	56,3	6,2	3,8	61,4
30-Mar	Bajo	10,2	5,2	51,2	9,2	4,7	51,5	18,6	5,6	29,8	13,8	4,3	31,0
	Litosol	8,4	3,6	43,2	8,4	3,5	41,4	10,2	5,7	56,2	10,3	5,4	52,8
	Medio	9,4	4,8	50,8	8,9	3,3	36,7	12,9	5,9	45,5	13,0	5,9	45,5
11-Abr	Bajo	9,1	5,4	59,9	7,7	3,2	41,4	26,1	10,8	41,3	13,2	7,8	59,5
	Litosol	7,3	4,1	56,5	6,2	3,8	60,9	8,9	5,0	55,9	7,7	4,7	61,3
	Medio	8,5	5,3	62,4	7,9	4,6	58,2	11,7	7,6	64,8	11,2	5,8	51,5
3-May	Bajo	7,9	5,1	64,2	7,8	5,2	66,8	24,4	10,3	42,3	16,6	7,4	44,4
	Litosol	5,2	3,4	65,6	5,5	4,1	73,9	9,9	4,9	49,6	8,9	5,7	64,2
	Medio	6,9	4,2	60,7	6,0	3,8	63,7	9,5	6,0	63,1	9,2	5,9	64,4
16-May	Bajo	9,1	5,6	61,4	8,0	8,5	106,8	14,8	6,8	46,3	13,9	6,6	47,7
	Litosol	6,0	4,0	65,5	6,1	2,8	45,5	11,5	4,6	40,4	6,6	3,4	51,5
	Medio	7,6	3,9	51,1	7,4	3,3	44,9	10,8	4,8	44,1	9,4	4,2	44,7
16-Jun	Bajo	7,4	5,6	74,9	6,2	2,8	45,2	13,0	8,2	63,6	15,9	7,7	48,4
	Litosol	5,2	4,0	75,6	4,7	2,8	60,2	8,0	5,6	69,8	6,9	3,7	54,2
	Medio	6,8	4,7	69,0	5,4	2,4	43,8	10,5	5,2	49,7	7,3	4,6	63,5

Los Rotativos tienen menor variabilidad respecto a la media, y en los Continuos se observa una heterogeneidad más marcada, evidenciado por los CV (%) mayores respecto a ambos Rotativos, particularmente, para la zona de Bajo en el Continuo de Baja; donde se registraron valores muy extremos. Esto último, se asocia a un marcado doble estrato, atribuible a la presencia de especies cespitosas como *Festuca arundinaceae* y *Paspalum quadrifarium* en el área. Específicamente, esto ocurre para el 15 de marzo, donde las alturas promedio fueron muy bajas dada la situación de extrema sequía, y en el 16 de mayo, donde la ocurrencia de heladas determinó senescencia de especies estivales dominantes en algunas áreas del tapiz, como *Cynodon dactylon*; y, por ende, registros de altura de 0 cm.

Los resultados permiten inferir que las diferentes zonas condicionaron la variabilidad de estructuras y modificaron la respuesta por efecto del método de pastoreo, destacado en la zona de Bajo.

El nivel de oferta de forraje no parece mostrar un efecto claro en la variabilidad de las estructuras, al menos en el período del año evaluado, probablemente asociado al efecto de la extrema sequía sobre la estructura de la pastura.

En forma general, a partir de las descripciones realizadas, es razonable sostener que las diferencias en la estructura en los Rotativos en la zona de Bajo causadas, aparentemente, por efecto del método de pastoreo, puedan asociarse a los períodos de descanso, así como a las condiciones edáficas y la composición botánica presente de alta respuesta productiva; que posibilitaron acumulación de forraje en algunas parcelas definiendo la heterogeneidad a esta escala. El hecho de que en los Continuos no se haya expresado el comportamiento diferencial en la zona de Bajo, podría explicarse por la preferencia de los animales por esta área - dominada por *Festuca arundinaceae* - y, por ende, la mayor presión de pastoreo que no permitió expresar el potencial.

Por último, cabe resaltar que la estructura es resultado de la dinámica del crecimiento mediante variables morfogenéticas; siendo entonces, la estructura y la presentación de la masa de forraje al animal en pastoreo, reflejo de la situación climática y de los tipos de especies determinantes de la distribución vertical del forraje (Carvalho et al., 2001). Dada esta consideración, surge la relevancia de profundizar en la caracterización de la composición botánica de la pastura.

## 5.2.2. Análisis estadístico de la varianza

### 5.2.2.1. Altura

A efectos de precisar el estudio estadístico de la variable altura (Tabla 7), se realiza el análisis de la varianza y la prueba de comparación de medias según Tukey con nivel de significancia al 10%. El ANAVA resultó significativo tanto para los factores individuales y para las interacciones, excepto la interacción OFxZona (Anexo J).

**Tabla 7**

*Análisis estadístico de la altura promedio (cm)*

<b>MxOF</b>	<b>Altura promedio (cm)</b>
RA	12,8 a
RB	10,6 b
CA	7,3 c
CB	6,6 c
<b>MxZ</b>	
R Bajo	16,6 a
R Medio	10,2 b
R Litosol	8,4 bc
C Bajo	7,7 cd
C Medio	7,2 cd
C Litosol	5,9 d

A partir del análisis estadístico, se observa que para la interacción MxOF, el promedio de altura resultó significativo para ambos métodos de pastoreo, siendo el Rotativo superior al Continuo. Dentro del método Rotativo, se destaca el efecto del nivel de oferta, registrando significativamente mayor altura promedio el Rotativo de oferta Alta, que no se había visualizado marcadamente en el análisis descriptivo, con la excepción de situaciones determinadas por zona estudiada.

En base a los resultados, se confirma que el método Continuo no permite la expresión del efecto de la oferta, posiblemente, asociado a diferencias en la densidad y composición de la masa de forraje, que pueden ser atribuible a una mayor frecuencia de defoliación pero con una intensidad por planta inferior, determinando menor masa total de forraje, con una mayor densidad de macollos pequeños (Brizuela & Cibils, 2011), y/o tipos vegetativos de menor porte y/o postrados (Formoso, 2005); sumado a los efectos sobre la estructura que implicó la situación de sequía extrema previo a la evaluación. Esta estructura de la pastura determina una distribución más homogénea de las alturas, a diferencia del Rotativo donde se produce un cambio estructural de la planta con macollos más grandes, pero en menor cantidad total (Hodgson, 1990), implicando alturas mayores consecuencia del largo de los períodos de descanso y respuesta de la estructura de la pastura a la competencia por luz que se genera (Bullock, 1996).

El comportamiento diferencial de ambos métodos es coherente con el comportamiento presentado en el análisis descriptivo a través de gráficos de cajas (*box – plot*) y evolución de las alturas.

En la interacción MxZ, el método de pastoreo prevalece determinando la respuesta entre alturas promedio, siendo los tratamientos Rotativos mayores a los Continuos. Dentro de cada método, el efecto de las zonas en el comportamiento de las alturas se evidencia en forma asociada a las características de los ambientes, en forma decreciente desde el Bajo hacia el Litosol, además de las condiciones edáficas que determina la composición botánica del tapiz, estudiada en capítulo posterior. Es oportuno recordar, que la cobertura vegetal, en composición florística y hábitos fisiológicos y ecológicos, adquiere características particulares según las condiciones edáficas y climáticas (Millot et al., 1987).

No obstante, en los resultados obtenidos, el efecto del método de pastoreo persiste. En los Continuos, se resalta la homogeneidad de alturas al no detectarse respuestas significativas entre las zonas, a diferencia del Rotativo, que expresa el efecto de las zonas con respuestas significativas entre la zona Baja, y entre la zona Medio y Litosol.

Estas respuestas nuevamente coinciden con la descripción realizada a través de las frecuencias relativas y absolutas, y los diagramas de densidad de puntos, todos presentados anteriormente.

### 5.2.2.2. Heterogeneidad espacial

Para estudiar estadísticamente la heterogeneidad generada en la estructura de la pastura (Tabla 8), se realiza el Test de Levene al residuo absoluto de la variable altura, que verifica el supuesto de homogeneidad de varianzas a través ANAVA (Barnes et al., 2008).

Los resultados de ANAVA fueron significativos sólo para los factores individuales OF y Zona (Anexo K). El nivel de heterogeneidad es mayor cuanto más alto y significativamente diferente sea el valor de la media de los residuos absolutos.

**Tabla 8**

*Heterogeneidad detectada a través del Test de Levene sobre los residuos absolutos*

<b>OF</b>	<b>Heterogeneidad</b>
Alta	1,22 a
Baja	0,67 b
<b>Zona</b>	
Bajo	1,30 a
Medio	1,12 b
Litosol	0,40 c

A partir del análisis estadístico, se evidencia mayor heterogeneidad a nivel de oferta Alta. Según Pinto et al. (2019), ofertas de forraje moderadas a altas determinan pasturas con mayor cobertura de maciegas, generando una típica estructura de doble estrato; causante de mayor heterogeneidad.

En relación con el efecto de la zona, la heterogeneidad se presenta decreciente desde el Bajo hacia el Litosol. El efecto de la zona se asocia a las diferencias en la productividad de las pasturas para cada ambiente, según las características edáficas y la composición botánica, como ha sido demostrado en el análisis descriptivo.

De acuerdo con Nabinger y Carvalho (2009), las características de la estructura de la pastura influyen en el desempeño del animal en pastoreo, afectando la producción secundaria; lo cual se analizará junto a los resultados obtenidos, en capítulo posterior.

Newman como se cita en Brizuela y Cibils (2011), sostiene que la distribución de los animales en pastoreo es producto de la agregación de decisiones individuales de los animales sobre qué y dónde pastorear. Esto genera falta de uniformidad en el uso del ambiente (Coughenour como se cita en Brizuela & Cibils, 2011); fundamentalmente en pastoreos de ocupación permanente con posibilidad de seleccionar. A diferencia de pastoreos rotativos, donde el hombre controla la utilización de la pastura a través de la duración de los períodos de descanso y ocupación (Sollenberger et al., 2009).

Por lo tanto, el período de ocupación, concentrando altas cargas instantáneas, promueve mayor utilización al disminuir la selectividad animal (Millot et al., 1987), homogeneizando la estructura de la pastura dentro de cada parcela. Por su parte, el período de descanso implica mayores alturas (Bullock, 1996), generando heterogeneidad entre parcelas.

En este sentido, el posible motivo de no haber encontrado diferencias significativas en heterogeneidad por efecto del método se podría asociar a la distribución animal en pastoreo y la generación de un mismo nivel de heterogeneidad pero a diferentes escalas según el tratamiento; siendo a escala de áreas o parches sobre y subpastoreados en los Continuos, y a escala de parcelas en Rotativos, dado el menor tamaño de las mismas respecto a los potreros pastoreados con ocupación permanente de mayor tamaño, resultados coincidentes con Barnes et al. (2008).

Por otro lado, como se evidencia en los resultados, la heterogeneidad de ambientes en las pasturas naturales de nuestro territorio se encuentra asociada a las condiciones del paisaje, suelos, clima y manejo, asegurando la existencia de una amplia variabilidad de especies y ecotipos (Boggiano & Berretta, 2006). De este modo, la heterogeneidad existente también se relacionará con la composición botánica del tapiz.

Además, cabe añadir que la intensidad de defoliación junto a la dinámica temporal (recursos ambientales y el ajuste de la OF) son los responsables de incrementar o reducir la heterogeneidad espacial de la pastura (Casalás, 2019).

### 5.2.3. Disponibilidad de forraje

Previo a particionar botánicamente la masa de forraje disponible, se presenta la disponibilidad (kg MS/ha) para las interacciones que mostraron significancia en el análisis estadístico de la variable altura (Tabla 9), considerando – a partir de los resultados de materia seca presente obtenida por cortes – una relación promedio de 184 kg MS/cm para el total del período evaluado.

**Tabla 9**

*Disponibilidad de forraje (kg MS/ha) según la altura promedio (cm)*

<b>MxOF</b>	<b>Altura promedio (cm)</b>	<b>Disponibilidad de forraje (kg MS/ha)</b>
RA	12,8 a	2355
RB	10,6 b	1950
CA	7,3 c	1343
CB	6,6 c	1214
<b>MxZ</b>		
R Bajo	16,6 a	3054
R Medio	10,2 b	1877
R Litosol	8,4 bc	1546
C Bajo	7,7 cd	1417
C Medio	7,2 cd	1325
C Litosol	5,9 d	1086

De acuerdo a resultados de Da Trindade et al. (2016), la disponibilidad de forraje que optimiza el consumo y la ingesta de nutrientes se encuentra entre 1820 – 2280 kg MS/ha, asociado a OF 12% y alturas entre 11,5 – 13,5 cm.

Los resultados demuestran que la disponibilidad de forraje en los Continuos se presentó inferior a estos niveles óptimos, mientras que los Rotativos mantuvieron condiciones más favorables. De todos modos, es clave resaltar que, en este último caso los datos corresponden a la disponibilidad promedio del sistema y no a la situación particular por parcelas.

Cuando se observan los resultados por zonas, se evidencia nuevamente la prevalencia del efecto del método de pastoreo, a favor de los Rotativos. Sin embargo, se destaca una mejora en las disponibilidades en la medida que se transita desde ambientes con condiciones más limitantes hacia ambientes con mejores condiciones para la producción de forraje; asociados a las condiciones edáficas y, posiblemente, a la composición botánica, como ya fue mencionado.

### 5.3. COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LA MASA DE FORRAJE DISPONIBLE

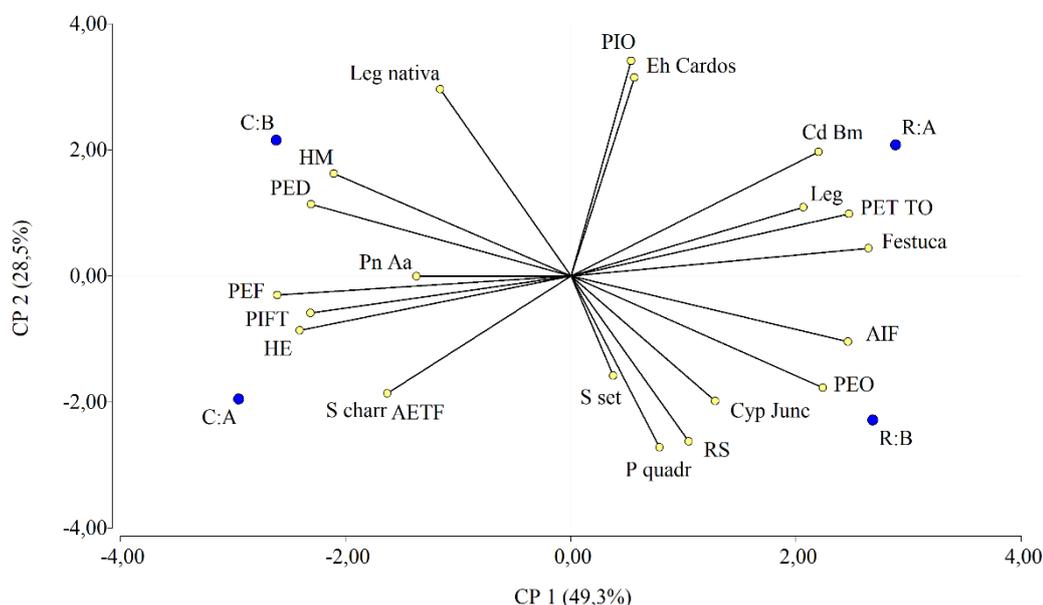
#### 5.3.1. Análisis estadístico descriptivo

##### 5.3.1.1. Descripción según el método de pastoreo y nivel de OF

En esta sección se presenta una descripción mediante análisis multivariados de los componentes botánicos del tapiz del área en estudio según método de pastoreo y nivel de oferta de forraje, a partir de resultados del método BOTANAL (Tothill et al., 1992).

**Figura 16**

Gráfico de componentes principales (bi – plot) para grupos botanales por aporte en proporción (%)



*Nota.* Los grupos representados corresponden a gramíneas perennes estivales duras (PED), hierbas menores (HM), leguminosas nativas (Leg nativa), gramíneas perennes invernales ordinarias (PIO), *Eryngium horridum* y cardos (Eh Cardos), *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica* (Cd Bm), leguminosas naturalizadas (Leg), gramíneas perennes estivales tiernas y tiernas – ordinarias (PET TO), *Festuca arundinaceae* (Festuca), gramíneas anuales invernales finas (AIF), gramíneas perennes estivales ordinarias (PEO), ciperáceas y juncáceas (Cyp Junc), restos secos (RS), *Stipa setigera* (S set), *Paspalum quadrifarium* (P quadr), gramíneas anuales estivales tiernas – finas (AETF), *Stipa charruana* (S charr), hierbas enanas (HE), perennes invernales finas – tiernas (PIFT) y perennes estivales finas (PEF).

En la Figura 16, mediante un análisis de componentes principales que explicó el 78% de la variabilidad (Anexo L), se destacan las especies y grupos de especies con mayor participación (%) en la masa de forraje disponible dada por efecto del método de pastoreo Rotativo o Continuo, agrupando dos conjuntos, hacia la derecha e izquierda de la línea central de corte en el eje horizontal, respectivamente.

En los Rotativos se agrupan, en su mayoría, especies introducidas ya naturalizadas como *Festuca arundinaceae*, leguminosas tales como *Lotus tenuis* y *Trifolium repens*, *Lolium multiflorum* como anual invernal fina, el grupo *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica*, especies perennes estivales ordinarias y duras, fundamentalmente, *Paspalum quadrifarium*, especies perennes estivales tiernas y tiernas-ordinarias, *Stipa setigera* como especie de interés perenne invernal cespitosa tierna - fina, ciperáceas y juncáceas, y, por último, cobertura de restos secos.

En los Continuos, se destaca la presencia del grupo *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis* (siendo explicado este grupo, en su mayoría, por *Paspalum notatum*), perennes estivales finas y duras, *Stipa charruana* como especie de interés perenne invernal cespitosa dura, perennes invernales tiernas – finas, leguminosas (principalmente, *Medicago lupulina*), hierbas menores y enanas, y anuales estivales tiernas – finas. Esta última categoría, no presenta una asociación firme a algún tratamiento, ya que la especie que la representó, *Cenchrus pauciflorus*, tuvo un único registro en fase reproductiva, con fruto punzante que determinó rechazo por los animales, justificando así su presencia. Estas pocas especies gramíneas anuales estivales, son intersticiales durante verano - otoño, y su frecuencia se refleja en áreas de suelo descubierto y con principios de degradación (Millot et al., 1987); coincidente al estado del potrero durante el período de estrés hídrico, previo al inicio de la evaluación.

Una de las principales diferencias entre los métodos Continuos y Rotativos, es la predominancia de hierbas menores y enanas en los Continuos; grupos asociados a situaciones de sobrepastoreo y suelos degradados (Ayala & Bermúdez, 2005; Boggiano et al., 2005; Millot et al., 1987). Dado el manejo ajustado de la carga en el experimento, la mayor proporción de dichos grupos es consecuencia externa a los tratamientos y se podría explicar, principalmente, por la situación climática. Cabe destacar que el bajo aporte a la MS de estos grupos en Rotativos, se debe a la presencia de gramíneas cespitosas promovidas bajo este manejo, disminuyendo los nichos para la colonización de estos grupos (Martínez & Pereira, 2011), esperable dada la mayor competencia por luz y bajo nivel de adaptabilidad morfológica a este nuevo ambiente.

Los grupos que no mostraron asociación a algún método de pastoreo o nivel de oferta fueron las gramíneas perennes invernales ordinarias, siendo *Piptochaetium montevidense* su principal representante, y, por otro lado, el grupo *Eryngium horridum* y cardos, adicionalmente. Dichos grupos de especies no diferencian su aporte a la MS disponible.

Si bien la presencia de *Eryngium horridum* puede conllevar la necesidad de pasar rotativa en otoño y primavera con el objetivo de disminuir su ocupación para no comprometer el área de pastoreo, se resalta la importancia de esta especie en la capacidad de generar protección a las especies finas y tiernas, conformando un banco de propágulos (Boggiano et al., 2005).

En cuanto al nivel de OF, la diferenciación entre Alta y Baja se observa que se manifiesta a nivel de los tipos productivos de las especies predominantes. A OF Altas, se observan tipos productivos tiernos – finos y finos, mientras que a OF Bajas estos mismos grupos dejan de explicar el aporte de MS. Esto también se evidencia en el comportamiento del grupo PED y *Paspalum quadrifarium*, los cuales presentan mayor participación a niveles de oferta Baja. De este modo, el efecto de intensidades altas de pastoreo se hace evidente en el mayor aporte de los grupos más rechazados por el animal.

Un aspecto a destacar, es que estos últimos grupos (PED y *Paspalum quadrifarium*) si bien se asocian a un mismo nivel de OF baja, se encuentran

asociados a métodos de pastoreo contrastantes. Probablemente, el método Rotativo, dados los períodos de descanso en ausencia de pastoreo, determine mejores condiciones para el crecimiento y acumulación de forraje de *Paspalum quadrifarium* (Boggiano et al., 2005).

Por otro lado, en contraste, también a OF Altas se destaca la mayor presencia de tipos productivos duros y ordinarios como *Stipa charruana* y el grupo *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica*, respectivamente. La presión de pastoreo disminuye a este nivel de OF, determinando que, por su tipo productivo y la selectividad animal por tipos productivos mejores, mantengan contribución alta en la partición de la masa de forraje disponible.

En cuanto al efecto del método, es destacable el mayor aporte de especies categóricamente cespitosas en los Rotativos, probablemente, promocionadas por el manejo del pastoreo; con períodos de ocupación y descanso, que determinan menor frecuencia de defoliación (Martínez & Pereira, 2011).

Sin embargo, el grupo *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica*, aparenta ser una excepción, dado que no era esperable se asocie fuertemente a este tipo de manejo Rotativo, por su hábito de crecimiento estolonífero - rizomatoso. Posiblemente, su mayor representatividad podría asociarse a una proporción levemente mayor de zona Litosol dentro de estos tratamientos, donde estas especies frecuentan (Berretta et al., 2001). *Cynodon dactylon* se caracteriza por su gran adaptabilidad y sobrevivencia a condiciones ambientales adversas (Ríos, 2001), dominando sobre suelos donde no prosperan especies mejores (Rosengurtt, 1946). Por su parte, *Bouteloua megapotamica* es una de las últimas especies que desaparecen en suelos empobrecidos por la erosión (Rosengurtt, 1946); coincidentemente a los antecedentes de manejo para el área de estudio. Además, su alta contribución puede ser consecuente al período de intensa sequía estival al tratarse de una especie que se favorece frente a estas condiciones (Rosengurtt, 1946).

Las especies *Paspalum notatum* y *Medicago lupulina*, adaptadas al pastoreo frecuente e intenso, explican el mayor aporte a la masa de forraje en los Continuos. En el caso de *Medicago lupulina*, forma un ramaje espeso de buena calidad, pero poco abundante y de baja accesibilidad (Maciel, 1907). Las plantas rizomatosas y estoloníferas por su hábito de crecimiento rastrero escapan al diente del animal, colonizando o aumentando el área que ocupan (Milot et al., 1987).

A su vez, dentro del método Continuo, a niveles de oferta Baja, se observa que no hay alta participación de grupos de especies perennes cespitosas invernales tiernos – finos, posiblemente asociado al sobrepastoreo por déficit forrajero invernal y el aumento de la frecuencia e intensidad de defoliación ante la mayor carga animal y menor disponibilidad de forraje (Pinchak et al. como se cita en Da Cruz, 1998). La mayor frecuencia de defoliación genera continuamente un estrés energético a la planta que condiciona su sobrevivencia en detrimento de las especies cespitosas (Boggiano et al., 2005). Según Millot et al. (1987), pastoreos intensos y prolongados - continuos a cargas altas -, pueden provocar la desaparición de especies de alta producción invernal al ser removida gran parte del área foliar,

determinando que el rebrote sea partir de las reservas acumuladas en la base de macollos y raíces, que, con alta frecuencia e intensidad, disminuyen el almacenamiento de las mismas, enlenteciendo el rebrote y dando lugar a la ocupación de estos nichos por especies rastreras estivales o gramíneas anuales.

El grupo de anuales invernales finas, representado principalmente, por *Bromus catharticus* (especie bianual que se catalogó dentro de este grupo botanal) y *Lolium multiflorum*, se observa en los Rotativos a Baja oferta; probablemente como síntoma del sobrepastoreo frente al déficit forrajero otoño - invernal. Ambas especies prosperan ocupando los nichos de las perennes invernales de alta productividad (Pinchak et al. como se cita en Da Cruz, 1998; Millot et al., 1987); y a su vez los períodos de descanso podrían haber favorecido su establecimiento.

Los grupos *Festuca arundinacea*, leguminosas introducidas (*Trifolium repens* y *Lotus tenuis*), *Stipa setigera*, *Paspalum quadrifarium*, y, Ciperáceas y Juncáceas, se vieron favorecidos con manejos Rotativos. Los largos períodos entre pastoreos favorecen el crecimiento en altura de gramíneas cespitosas y leguminosas, dada la mejor competencia por luz de estas especies deseables, bien establecidas, frente a las especies indeseables (Smetham, 1990); si bien el grupo Ciperáceas y Juncáceas se cataloga como de bajo valor o índice pastoral (Berretta, 1989; Rosengurtt, 1979).

La mayor participación de Ciperáceas y Juncáceas, así como, leguminosas en Rotativos se asocia a la zona de Bajo, coincidente con resultados de Boggiano et al. (2005) en la misma área en estudio.

*Stipa charruana* tiene mayor participación en manejo Continuo a oferta Alta, tal vez asociado a una menor presión de pastoreo que determina mayor oportunidad de selección a mayor disponibilidad de forraje (Nabinger & Carvalho, 2009) y mayor rechazo de esta especie de tipo productivo duro (Rosengurtt, 1979). Así mismo no es un aspecto negativo, ya que la mayor contribución de especies tiernas y finas también podría atribuirse a la protección que ejerce el doble estrato (Seibert, 2015), conformado por maciegas de esta especie. Además, en períodos de escasez de forraje, se trata de una especie que contribuye a mantener reservas de forraje en pie, manteniendo los niveles de consumo de los animales.

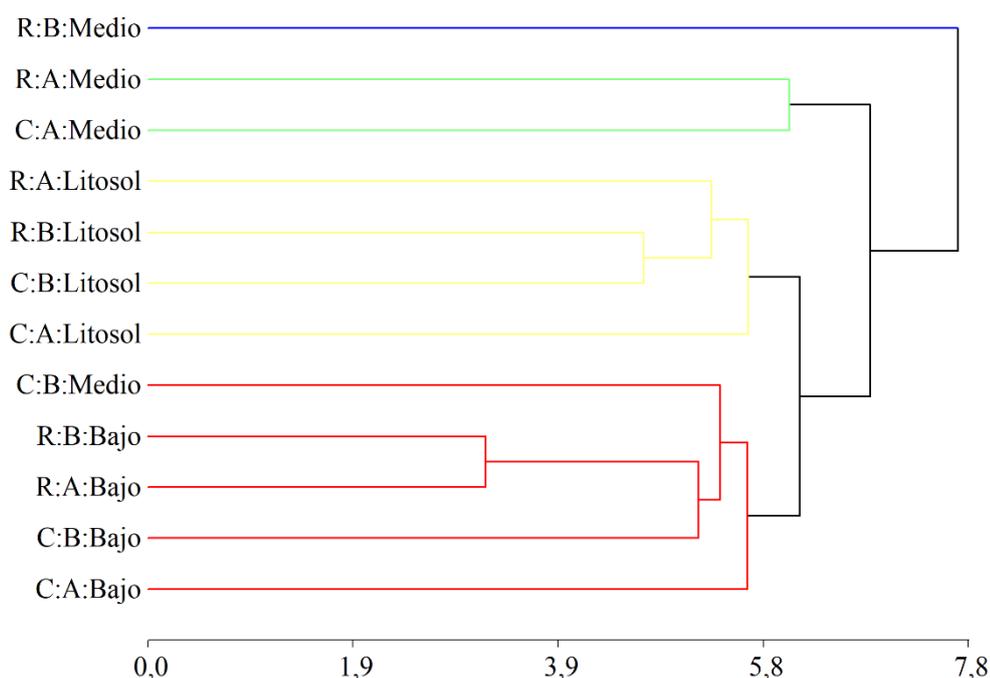
Los restos secos se asociaron al Rotativo a oferta Baja, atribuible al grupo *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica*, afectado por las heladas que causaron senescencia. Según Berretta et al. (1990), la cantidad de restos secos es mayor en los tratamientos rotativos debido a los períodos de descanso que ocurren en los mismos; las especies alcanzan mayor altura y senescen rápidamente dejando una mezcla de hojas jóvenes y senescidas, contrariamente al continuo, donde el tapiz se mantiene más corto. Este componente aumenta en invierno, teniendo mayor proporción, debido a la muerte de las especies estivales dadas las bajas temperaturas. A su vez, el autor sostiene, que, con déficit hídrico, la cantidad de estos restos secos puede ser significativamente mayor en diferencia a un año catalogado como normal.

### 5.3.1.2. Descripción incluyendo a las zonas estudiadas

A continuación, se profundiza el análisis incorporando el factor zona en la composición botánica del aporte de MS, realizando un análisis de conglomerados incluyendo la interacción triple MxOFxZ (Anexo M).

#### Figura 17

*Análisis de conglomerados para los grupos botanales considerando la interacción triple de los factores*



Analizando la interacción de los tres factores (Figura 17), a una distancia media se observa independencia entre los grupos. De igual manera, aparentan conformarse a una mayor distancia (6) tres grupos diferenciados, con respuestas específicas entre método de pastoreo y oferta de forraje para cada uno de ellos. Si bien se presenta un cuarto componente que no tiene asociación a ningún grupo, el Rotativo de Baja oferta en zona Media, podría mostrarse similar a la agrupación en dicha zona.

Otro caso particular, es el Continuo a Baja oferta sobre la zona Media, donde la participación de los grupos botanales a la masa de forraje no se diferencia de la situación de Bajo, donde el método y el nivel de oferta de forraje prevalecen marcando la diferencia.

En vistas de las agrupaciones detectadas, se caracterizan los conglomerados por zona estudiada (Tabla 10).

**Tabla 10**

*Contribución por grupo botanal a la MS presente (%) para cada conglomerado*

RB Medio		RA Medio y CA Medio		RA Litosol, RB Litosol, CA Litosol y CB Litosol		CB Medio, RA Bajo, RB Bajo, CA Bajo y CB Bajo	
Grupo	MS (%)	Grupo	MS (%)	Grupo	MS (%)	Grupo	MS (%)
Pn + Aa	29,4	Pn + Aa	22,0	Cd + Bm	25,2	Cd + Bm	24,4
PET - TO	13,8	S. set.	21,0	S. set.	15,7	Festuca	21,2
S. set.	13,7	PET - TO	11,3	Pn + Aa	14,0	Pn + Aa	13,1
Cyp + Jun	10,5	Cd + Bm	8,9	Leg.	13,9	S. set.	8,6
Leg.	6,2	Eh + Car.	5,7	HE	8,2	PIFT	6,9
Cd + Bm	5,9	Leg.	5,4	PIFT	5,5	PEF	6,1
AIF	5,3	P. quadr.	4,7	Cyp + Jun	2,8	HE	4,5
P. quadr.	3,8	Festuca	4,1	HM	2,2	Leg	3,9
RS	3,3	HE	3,4	PIO	2,1	Cyp + Jun	2,8
HE	2,5	Cyp + Jun	2,9	Eh + Car.	2,1	PET - TO	2,7
PIFT	1,9	PIFT	2,6	PET - TO	1,9	Eh + Car.	2,6
Festuca	1,5	HM	2,6	Festuca	1,6	PED	1,0
Eh + Car.	1,1	PIO	2,0	PEF	1,6	HM	0,7
PED	0,9	PED	1,1	AIF	1,5	AIF	0,6
HM	0,4	AIF	0,9	PEO	1,1	P. quadr.	0,5
AETF	0	S. charr.	0,7	Leg. Nat.	0,4	Leg. Nat.	0,3
Leg. Nat.	0	RS	0,4	S. charr.	0,3	AETF	0,2
PEF	0	PEO	0,3	RS	0,1	RS	0,9
PEO	0	Leg. Nat	0,1	AETF	0	PIO	0
PIO	0	AETF	0	P. quadr	0	PEO	0
S. charr.	0	PEF	0	PED	0	S. charr.	0

Según Boggiano y Berretta (2006) la profundidad del suelo determina el número de especies; observando en otoño mayor número de especies en suelos más profundos, y en invierno sobre suelos superficiales debido al incremento de hierbas enanas de ciclo invernal. En el período evaluado, a su vez, la extrema sequía estival determinó un desentramado del tapiz y baja competencia de especies estivales a inicios de otoño, generando nichos para el aumento en la frecuencia de diversos grupos, evitando la dominancia de algunos pocos en zonas extremas, Bajo y Litosol.

Los conglomerados se agruparon por zonas, siendo cada zona diferenciada por el aporte de MS (%) de los principales grupos botanales. En el Litosol, los grupos dominantes fueron *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica* (25,8%), *Stipa setigera* (15,7%), *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis* (14,0 %), y leguminosas (13,9 %). En el Medio, dominaron *Paspalum notatum* y *Axonopus*

*affinis* (22,0 – 29,4%), *Stipa setigera* (13,7 – 21,0%), perennes estivales tiernas y tiernas – ordinarias (11,3 – 13,8%), Ciperáceas y Juncáceas (10,5%), y, *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica* (8,9%). Por último, en el Bajo dominaron *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica* (24,4%), *Festuca arundinacea* (21,2%), *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis* (13,1%), y *Stipa setigera* (8,6%).

El grupo *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica* es dominante en los dos ambientes más extremos, Litosol y Bajo, dado que como ya fue mencionado, se trata de especies con gran adaptabilidad y sobrevivencia en condiciones adversas (Ríos, 2001; Rosengurtt, 1946). Es clave destacar que, en la observación a campo, *Cynodon dactylon* era dominante en la zona de Bajo, y *Bouteloua megapotamica* tuvo mayor proporción en el Litosol, suelo erosionado por historia agrícola.

El grupo *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis* está presente en las tres zonas, siendo la primera dominante en la zona Media. *Paspalum notatum* se encuentra en todos los suelos, cuando el recurso luminosidad no es limitante (Bemhaja, 2005). De acuerdo con Cejas (2016), tapices más ralos generan menor competencia por el recurso luz, lo que le da ventaja competitiva, explicando su mayor cobertura.

*Festuca arundinaceae* domina en la zona de Bajo, lo cual se explica debido a su mejor adaptabilidad a suelos medios a pesados, con alta humedad que garantizan su sobrevivencia estival (Carámbula, 2008).

En el Litosol, se destaca el mayor aporte de leguminosas (13,9%), principalmente explicado por *Medicago lupulina*. Dicha especie, frecuente en suelos calcáreos, de hábito postrado y baja productividad (Rosengurtt, 1979), prospera en ambientes donde otras especies no generan competencia. Las condiciones climáticas previo al inicio del experimento desentramaron el tapiz, como fue mencionado anteriormente, implicando ello una oportunidad para el aumento de su frecuencia.

En la zona Media, se constató mayor diversidad dada por *Stipa setigera* (13,7 – 21%) y el grupo de especies perennes tiernas y tiernas – ordinarias (11,3 – 13,8%). Esta condición heterogénea determina un ambiente resiliente, con especies que se complementan generando una producción de forraje estable a lo largo del año y resistiendo a los extremos climáticos (Pinto et al., 2019).

Como observación, el grupo de Ciperáceas y Juncáceas (2,9 – 10,5%), frecuentes en áreas con malos drenajes y acumulación de agua (Millot et al., 1987), no tuvo su mayor participación en la zona Baja sino en la Media. Esto posiblemente asociado a la mayor competencia de *Cynodon dactylon* y *Festuca arundinacea* en el Bajo, dominantes en el tapiz.

El aporte de *Paspalum quadrifarium* (3,8 – 4,7%) se da principalmente en la zona Media, y no en Litosol ni en el Bajo, ya que estas zonas no son favorables para su crecimiento y desarrollo. Esta especie habita en campos brutos y suelos variados, a excepción de ambientes pobres y/o con inundación permanente (Pereira, 2006).

## 5.3.2. Análisis estadístico de la varianza

A efectos de precisar el análisis, se presenta el ANAVA, en primera instancia, mostrando la significancia de cada grupo para las interacciones dobles y factores individuales a nivel de aporte de MS, en proporción (%) (Tabla 11) y masa de forraje (kg MS/ha) (Tabla 12).

**Tabla 11**

*Resumen del nivel de significancia para cada grupo en aporte de MS (%)*

GRUPO	M	OF	Z	MxOF	ZxM	ZxOF
Pn + Aa	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cd + Bm	ns	ns	*	ns	ns	ns
PEF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PET - TO	*	ns	**	ns	*	ns
PEO	**	ns	**	ns	***	ns
P. quadrifarium	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PED	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Festuca	*	ns	****	ns	ns	ns
Stipa setigera	ns	*	ns	ns	ns	ns
PIFT	*	ns	ns	ns	ns	ns
PIO	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Stipa charruana	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AETF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AIF	**	ns	ns	ns	ns	ns
Leguminosas	ns	ns	**	*	ns	ns
Leg. Naturalizadas	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cyp + Jun	ns	ns	ns	ns	ns	ns
HE	*	ns	ns	ns	ns	ns
HM	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Eh + Cardos	ns	ns	*	*	ns	ns
Restos secos	ns	*	**	**	ns	ns

*Nota.* El nivel de significancia estadística de la prueba (p – valor) se representa con los asteriscos (ns: no significativo; \*  $\leq 0,10$ ; \*\*  $\leq 0,05$ ; \*\*\*  $\leq 0,01$ ; y, \*\*\*\*  $\leq 0,001$ ).

**Tabla 12**

*Resumen del nivel de significancia para cada grupo en masa de forraje (kg MS/ha)*

<b>GRUPO</b>	<b>M</b>	<b>OF</b>	<b>Z</b>	<b>MxOF</b>	<b>ZxM</b>	<b>ZxOF</b>
Pn + Aa	ns	ns	**	ns	ns	ns
Cd + Bm	*	ns	***	ns	*	ns
PEF	ns	ns	*	ns	ns	ns
PET - TO	**	ns	**	ns	*	ns
PEO	ns	ns	**	ns	**	ns
P. quadrifarium	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PED	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Festuca	**	ns	***	ns	**	ns
Stipa setigera	*	*	ns	ns	ns	ns
PIFT	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PIO	ns	ns	ns	ns	*	ns
Stipa charruana	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AETF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AIF	**	ns	ns	ns	ns	ns
Leguminosas	ns	ns	***	**	ns	ns
Leg. Naturalizadas	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cyp + Jun	ns	ns	ns	ns	ns	ns
HE	ns	ns	ns	ns	ns	ns
HM	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Eh + Cardos	ns	ns	*	*	ns	ns
Restos secos	ns	*	***	**	ns	*

*Nota.* El nivel de significancia estadística de la prueba (p – valor) se representa con los asteriscos (ns: no significativo; \*  $\leq 0,10$ ; \*\*  $\leq 0,05$ ; \*\*\*  $\leq 0,01$ ; y, \*\*\*\*  $\leq 0,001$ ).

A nivel de aporte de MS en proporción (%), se detectó significancia para pocos grupos botanales, resultando a nivel de interacciones entre factores, significancia sólo para MxOF y ZxM. La interacción ZxOF no fue significativa para ningún grupo.

En términos de aporte en masa de forraje (kg MS/ha), hay significancia en algunos grupos en todas las interacciones.

Dadas las diferencias detectadas, se analiza la comparación de medias correspondientes según Tukey con nivel de significancia 10%, partiendo las comparaciones desde el aporte en masa de forraje (kg MS/ha).

**Tabla 13**

*Análisis estadístico para restos secos en ZxOF en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%)*

GRUPO	Z x OF											
	Lit A		Medio A		Bajo A		Lit B		Medio B		Bajo B	
	kg MS/ha	%										
Restos secos	0 b	0	6 b	0	0 b	0	1 b	0	27 a	2	0 b	0

En la interacción Z x OF (Tabla 13), se observó respuesta significativa para restos secos en masa de forraje (kg MS/ha), y no para la proporción (%), siendo mayor el aporte en masa de forraje a nivel Bajo de oferta sobre la zona Media. De todos modos, estas diferencias no se consideran importantes agrónomicamente, dada la baja magnitud de los registros.

**Tabla 14**

*Análisis estadístico para grupos significativos en ZxM en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%)*

GRUPO	Z x M											
	Lit C		Medio C		Bajo C		Lit R		Medio R		Bajo R	
	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%
PET-TO	6 b	1 b	44 b	34 b	42 b	4 b	48 b	3 b	262 a	15 a	43 b	2 b
PEO	0 b	0 b	4 b	0 b	0 b	0 b	19 a	2 a	0 b	0 b	0 b	0 b
Fest.	0 b	0	49 b	4	217 b	17	50 b	3	54 b	3	797 a	33
Cd+Bm	214 b	25	132 b	12	282 b	22	221 b	25	140 b	8,5	708 a	31

En la interacción de ZxM (Tabla 14), el grupo PET – TO, resulta significativo en cuanto al aporte en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%), con media mayor para el método Rotativo en zona Media. Esto concuerda con lo analizado en el *bi - plot* donde este grupo se asoció al método Rotativo y a su vez, en el análisis de conglomerados donde se encontró dentro de las especies dominantes en la zona Media.

En relación con el grupo PEO, resultó significativo tanto para aporte en masa de forraje (kg MS/ha) y para proporción (%), registrando mayor media para el tratamiento Rotativo en la zona Litosol. Es concordante a lo observado en la descripción mediante *bi - plot*, con mayor proporción de aporte para los Rotativos, y además al análisis de conglomerados donde se observa un aporte mínimo pero exclusivo en la zona de Litosol. De todos modos, agrónomicamente dicha magnitud no es considerada importante.

Los grupos *Festuca arundinaceae* y *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica*, mostraron significancia para el aporte en masa de forraje (kg MS/ha), y no para la proporción (%). Los resultados también coincidieron con la descripción del *bi – plot* que asoció ambos grupos al método Rotativo. A su vez, coincidieron con el análisis de conglomerados que los había identificado como dominantes para la zona de Bajo.

**Tabla 15**

*Análisis estadístico para grupos significativos en MxOF en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%)*

GRUPO	M x OF							
	CA		CB		RA		RB	
	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%
Leg.	57 a	6 a	121 a	11 a	115 a	8 a	50 a	5 a
Eh + Card.	22 a	2,0 a	36 a	3 a	85 a	5 a	31 a	1 a
RS	4 ab	0 ab	2 b	0 b	0 b	0 b	17 a	1 a

En la interacción MxOF (Tabla 15), los grupos leguminosas y *Eryngium horridum* y cardos, si bien resultaron significativos para ambas variables - aporte en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%) -, la comparación de medias a través de Tukey con nivel de significancia al 10% no mostró diferencias.

En la misma interacción, los resultados son significativos para restos secos. Si bien hay diferencia entre las medias, no se evidencia un patrón claro dadas las magnitudes tan bajas; por ende, no son consideradas importantes agrónomicamente.

**Tabla 16**

*Análisis estadístico de grupos significativos por factores individuales en masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%)*

<b>MÉTODO</b>						
<b>GRUPO</b>	<b>Continuo</b>		<b>Rotativo</b>			
	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%		
AIF	0 b	0 b	42 a	3 a		
PIFT	75	7 a	59	3 b		
HE	68	7 a	47	4 b		
<b>OFERTA</b>						
<b>GRUPO</b>	<b>Alta</b>		<b>Baja</b>			
	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%		
Stipa setigera	228 a	17 a	131 b	10 b		
<b>ZONA</b>						
<b>GRUPO</b>	<b>Litosol</b>		<b>Medio</b>		<b>Bajo</b>	
	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%
Pn + Aa	155 ab	14	321 a	24	128 b	10
PEF	14 b	2	28 ab	3	84 a	5

Dentro del factor individual método (Tabla 16), el grupo AIF resultó significativo, mostrando la misma tendencia observada en el *bi-plot*, siendo mayor el aporte para Rotativo, tanto en masa de forraje (kg MS/ha) como en proporción (%). Los grupos PIFT y HE tuvieron significancia, tanto para la masa de forraje (kg MS/ha) y proporción (%), mostrando mayor aporte para el Continuo, coincidente con el análisis descriptivo.

A nivel del factor individual oferta de forraje (Tabla 16), la respuesta significativa se da para *Stipa setigera*, mostrando mayor aporte en masa de forraje (kg MS/ha) y en proporción (%), con medias mayores para el nivel de oferta Alta. De acuerdo con Boggiano et al. (2005), ante aumentos en la OF se determinan remanentes mayores, menor remoción de área foliar y pseudotallos, condición que favorecerá principalmente al mayor aporte de los tipos cespitosos, mayoría de las gramíneas invernales.

Por último, dentro factor individual zona (Tabla 16), el grupo *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis* resultó significativo para el aporte en masa de forraje (kg MS/ha) y no en proporción (%), siendo mayor la media encontrada para la zona Media, coincidente con el análisis de conglomerados, que la arrojó como la primera dominante para dicha zona. La tendencia coincide para las restantes zonas, donde se había presentado como tercera especie dominante para la zona Litosol y Bajo. El grupo PEF tuvo el mismo comportamiento en significancia estadística, tanto para aporte en masa de forraje (kg MS/ha) como proporción (%). El mayor aporte, en

masa de forraje (kg MS/ha), se registró para la zona Baja, coincidente con el análisis de conglomerados. De aquí, se infiere que este grupo estuvo mayormente representado por *Paspalum dilatatum*, especie adaptada a suelos muy fértiles (Rosengurtt, 1946), característicos de esta zona.

#### 5.4. PRODUCCIÓN ANIMAL

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos para la producción secundaria. En primer lugar, se reporta la evolución de la carga animal por tratamiento, siguiendo con la evolución de la GMD (kg PV/a/día) y la PCV obtenida (kg PV/ha) por sub-período y para el total del período de evaluación, relacionando los resultados a las OF promedio reales obtenidas durante el período evaluado.

##### 5.4.1. Evolución de la carga animal

La evolución de la carga animal, expresada en kg PV/ha y su equivalente en UG/ha, se presenta por sub - período entre fechas de pesadas, y el respectivo promedio del período total evaluado (Tabla 17).

**Tabla 17**

*Evolución de la carga animal (kg PV/ha y UG/ha) por sub - período y para el total del período para los métodos y OF*

Período	CA		CB		RA		RB	
	kg PV/ha	UG/ha						
15/3 - 11/4	494	1,3	624	1,6	490	1,3	584	1,5
11/4 - 16/5	493	1,3	633	1,7	506	1,3	605	1,6
16/5 - 23/6	492	1,3	637	1,7	522	1,4	612	1,6
<b>Promedio</b>	493	1,3	631	1,7	506	1,3	601	1,6

En base a los resultados obtenidos, es notoria la diferencia en la carga animal dada por el nivel de OF, y no por el método de pastoreo. Los valores mayores se registran para el nivel de oferta Baja en ambos métodos de pastoreo, en los tres sub - períodos.

Si bien las cargas animales promedio por tratamiento Rotativo fueron 1,3 y 1,6 UG/ha, para los niveles de OF Alta y Baja, respectivamente, al momento de pastorear la carga total se concentraba instantáneamente en tan sólo 0,67 ha (Tabla 18).

**Tabla 18**

*Evolución de las cargas instantáneas (kg PV/ha y UG/ha) en Rotativos para cada sub-período y el total del período*

Período	RA		RB	
	kg PV/ha	UG/ha	kg PV/ha	UG/ha
15/3 - 11/4	6869	18	8187	22
11/4 - 16/5	7088	19	8484	22
16/5 - 23/6	7316	19	8581	23
<b>Promedio</b>	7091	19	8417	22

A estos niveles de carga, la duración de ocupación promedio soportada por parcela fue de 5 – 6 días para el Rotativo Alta, y 3 – 4 días para el Rotativo Baja (Tabla 2).

#### 5.4.2. Ganancias medias diarias y ganancias por hectárea

En la Tabla 19 se presentan los resultados obtenidos para las GMD (kg PV/a/día) - ajustadas a través de la co-variable de peso vivo inicial y obtenidas por diferencia de carga total (kg PV) final e inicial del período evaluado -, así como las ganancias por unidad de área, inferidas a partir de las GMD (kg PV/a/día) y la carga media (animales/día) calculada (Anexo G).

**Tabla 19**

*Ganancias medias diarias promedio (kg PV/a/día) y por unidad de área por sub - período y totales (kg PV/ha)*

Tratamiento	GMD	G/ha			
		kg PV/ha			
	kg PV/a/día	15/3 - 11/4	11/4 -16/5	16/5 - 23/6	Total
<b>CA</b>	0,19 a	7	9	9	25
<b>CB</b>	0,18 a	6	9	3	24
<b>RA</b>	0,14 a	8	3	6	19
<b>RB</b>	0,14 a	9	6	8	28

Al realizar el ANAVA para la GMD (kg PV/a/día) con una prueba de comparación de medias Tukey con nivel de significancia 10%, se constató que no hubo diferencias significativas entre tratamientos. De igual manera, se decidió utilizar la media de cada tratamiento para realizar los siguientes cálculos de ganancia por unidad de área (kg PV/ha).

El bajo desempeño animal individual obtenido, respecto a lo esperable para los niveles de OF en este período del año, según recopilación de datos en trabajos en campo natural en la misma Estación Experimental (Bove & Gutierrez, 2021), se podría explicar por las condiciones de estructura de la pastura sub - óptimas, en referencia a la propuesta de Gonçalves et al. (2009).

Por otra parte, cabe resaltar que se experimenta con novillos de raza Holando, y con PV promedio de los "testers" oscilando entre 360 - 400 kg PV; siendo animales de altos requerimientos de mantenimiento, y por ende requerimientos de consumo diarios mayores respecto a razas típicamente carniceras. Duhalde y Silveira (2018), utilizando la misma categoría y raza animal en pastoreo sobre campo natural a niveles de OF 10,8%, en el período invernal, obtuvieron pérdidas de PV con GMD de  $-0,230$  kg PV/a/día; resultados que atribuyeron al efecto directo de las bajas temperaturas y precipitaciones en los requerimientos de mantenimiento de los animales.

Si bien no se detectaron diferencias estadísticas, y las magnitudes fueron muy bajas, aparenta presentarse una tendencia a mejor desempeño animal individual en el método Continuo, a ambos niveles de OF. Aunque la disponibilidad de forraje - medida a través de la altura - fue más limitante respecto a los Rotativos, la oportunidad de selección podría haberse favorecido mejorando potencialmente la performance animal.

En este sentido, el método Continuo parece mostrarse más resiliente, posiblemente asociado a la mayor oportunidad de selección ante condiciones de la pastura sub-óptimas para maximizar el consumo individual. En los Rotativos, además de que la oportunidad de selección no se favorece, las condiciones de heladas y bajas temperaturas que caracterizaron la segunda mitad del período evaluado pueden haber perjudicado la disponibilidad de masa de forraje verde acumulada, y de esta forma al desempeño animal frente a una dieta cosechada de inferior calidad.

Por otra parte, la carga animal total (kg PV/ha) se mantuvo en valores superiores para el nivel de oferta Baja e inferiores para el nivel de oferta Alta, similares para ambos métodos en todo el período evaluado. De esta manera, se podría reafirmar el efecto positivo del método Continuo - frente a estructuras de pastura por debajo de la condición óptima - en la oportunidad de selección, y la mejora potencial en la dieta cosechada (Laca, 2011), manteniendo con mayor estabilidad el desempeño animal a ambos niveles de oferta de forraje.

Respecto a las ganancias por unidad de área (G/ha), no fue posible realizar análisis estadístico, dada la falta de repetición del experimento. De todos modos, las bajas magnitudes de las diferencias entre tratamientos podrían catalogarse como similares.

### 5.4.3. Ofertas de forraje promedio reales

A partir del forraje disponible (kg MS/ha) en cada fecha de medición de altura sumando la tasa de crecimiento obtenida a través de imágenes satelitales cada 15 días (Anexo F) y la carga animal total (kg PV/ha), se estimó la oferta de forraje (OF) real a la cual se condujo el experimento en cada momento de medición (Tabla 20).

**Tabla 20**

*Ofertas de forraje reales (kg MS/100 kg PV) a las que se condujo el experimento*

	OF (kg MS/100 kg PV)						
	15 - Mar	30 - Mar	11 - Abr	3 - May	16 - May	6 - Jun	23 - Jun
<b>CA</b>	7,6	12,9	11,7	9,4	10,4	9,6	9,0
<b>CB</b>	5,8	9,8	8,0	6,8	7,6	6,6	5,7
<b>RA</b>	12,5	17,6	18,0	16,6	15,1	15,3	12,1
<b>RB</b>	8,5	13,7	11,4	11,1	9,4	9,8	8,9

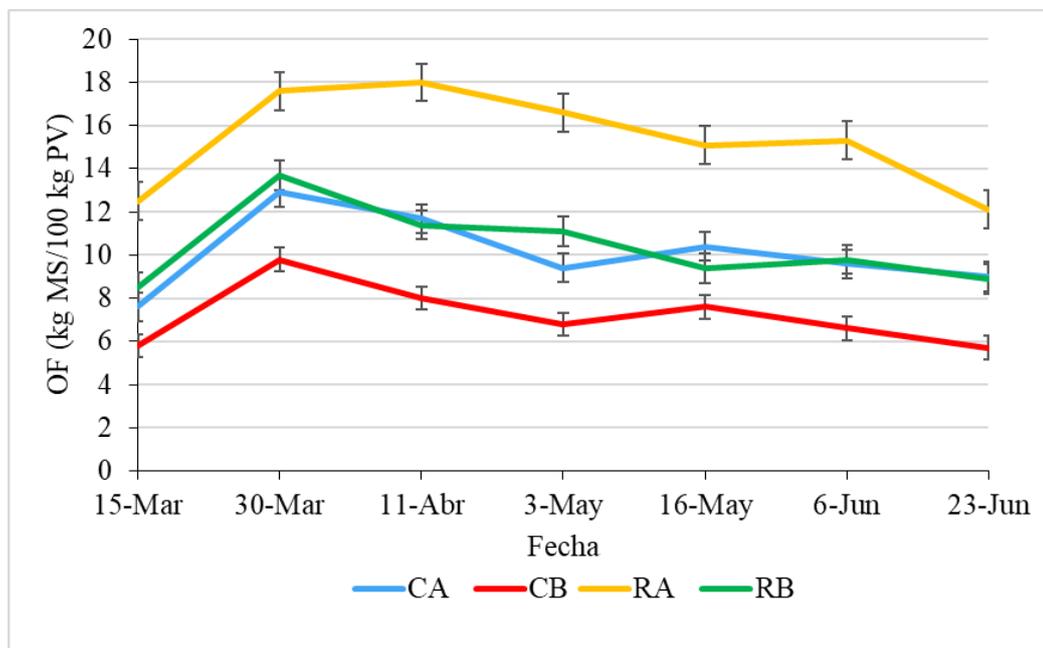
*Nota.* Los valores de oferta de forraje reales (kg MS/100 kg PV) fueron obtenidos como la relación entre la materia seca disponible (kg MS/ha) sumando la tasa de crecimiento en el período (kg MS/ha/día) y la carga animal total (kg PV/ha), ajustada a 30 días.

Los resultados muestran de forma coherente mayores niveles de OF para los tratamientos de Alta OF respecto a los de Baja OF durante todo el período evaluado.

La evolución de las OF (Figura 18) en los tratamientos Continuo de Alta y Rotativo de Baja mostró un comportamiento similar, mientras que el Continuo de Baja siempre se mantuvo en valores inferiores. Por su parte, el Rotativo Alta mostró superioridad frente a todos los tratamientos en el total del período.

**Figura 18**

*Evolución de las ofertas de forraje reales (kg MS/100 kg PV) durante el periodo evaluado*



*Nota.* Los valores de oferta de forraje reales (kg MS/100 kg PV) fueron obtenidos como la relación entre la materia seca disponible (kg MS/ha) sumando la tasa de crecimiento en el período (kg MS/ha/día) y la carga animal total (kg PV/ha), ajustada a 30 días.

La evolución de las OF (Figura 18) es coincidente al comportamiento de las alturas durante el período. En la segunda fecha de medición, los niveles se elevan producto de las condiciones climáticas (precipitaciones) que promovieron el crecimiento y acumulación de forraje. Posteriormente, el descenso de las OF es continuo para todos los tratamientos, dadas las tasas de crecimiento en descenso hacia el otoño - invierno (Anexo F). Por otra parte, se vuelve a destacar la mayor estabilidad del Rotativo de Alta, dado que el descenso en los niveles de OF desde la segunda fecha de medición es menos abrupto, a diferencia de los restantes tratamientos; tal como habían constatado Dos Santos et al. (1992), Carrera et al. (1996) y Gaggero et al. (1996).

## 6. CONSIDERACIONES FINALES

Las alturas promedio se mantuvieron siempre superiores en los tratamientos Rotativos respecto a los Continuos, detectando la mayor variabilidad y presencia de valores extremos en el Rotativo de Alta OF y Continuo a Baja OF.

La evolución de los registros de la altura promedio permite observar inicialmente un incremento en todos los tratamientos producto de condiciones climáticas favorables (temperatura y precipitaciones) posterior al período de sequía. Frente a este comportamiento, en la segunda fecha de medición, el Rotativo de Alta OF evidenció la mayor variabilidad de sus registros. Posteriormente, ocurre un descenso de las alturas hacia el otoño – invierno en todos los tratamientos; mientras que el Rotativo de Alta OF se destaca nuevamente, mostrando un descenso menos abrupto y más estable.

La descripción de las alturas promedio por tratamiento y zona estudiada permitió observar que las condiciones de ambiente contrastantes definieron la variabilidad de estructuras generadas, y en algún caso particular, respuestas diferenciales según el método de pastoreo. El método Rotativo en la zona de Bajo y a nivel Alto de OF, evidenció claramente respuestas superiores a los Continuos, atribuible al potencial productivo del ambiente y su composición botánica, así como también al período de descanso en las parcelas. En esta misma zona, el método Continuo no tuvo respuesta diferencial según el nivel de OF, lo que se atribuye a la mayor preferencia de los animales por esta área, y por lo tanto a una mayor presión de pastoreo que no permitió igual respuesta de la pastura.

La distribución de los registros de altura por estratos se distinguió según el método de pastoreo, sin diferencias notorias en cuanto al nivel de OF. Los tratamientos Continuos agruparon la mayor cantidad de registros en los estratos 0 – 4 cm y 4 – 8 cm, mientras los Rotativos distribuyeron los registros en estratos superiores, mayormente, en 4 – 8 cm y 8 – 12 cm. De esto, se resaltan las condiciones sub-óptimas para el consumo animal que pudieron presentar los tratamientos Continuos respecto a los Rotativos, en referencia a Gonçalves et al. (2009). Cabe destacar que no se realizó un estudio diferencial del comportamiento de las alturas en los Rotativos en función de los días de descanso de las parcelas, así como de las parcelas de ingreso al pastoreo, lo que podría enmascarar situaciones de condiciones de pastura que se hayan presentado inferiores al óptimo (Gonçalves et al., 2009).

El análisis estadístico constató lo señalado, al detectar diferencias significativas para las alturas promedio, con mayores registros para el Rotativo de Alta OF, seguida por el Rotativo de Baja OF, y en último lugar con igual comportamiento los Continuos de Alta y Baja OF. Por otro lado, también se detectó diferencias significativas según la zona en estudio, principalmente en los Rotativos, en orden descendente desde el Bajo, Medio y Litosol.

La heterogeneidad, medida a través del Test de Levene, detectó significativamente mayor magnitud a nivel Alto de OF. Y también, heterogeneidades significativamente decrecientes desde la zona de Bajo, Medio y Litosol. El método de pastoreo no se diferenció estadísticamente, concluyendo que la heterogeneidad generada bajo cada método fue igual, pero a diferentes escalas, siendo a escala de parches sub o sobre – pastoreados en los Continuos y a escala de parcelas en los Rotativos.

Las disponibilidades de forraje (kg MS/ha) promedio por tratamiento en el total del período evaluado, se mantuvieron, en la mayoría de los casos, por debajo del óptimo de manejo para pasturas naturales (Da Trindade et al., 2016), a excepción de los Rotativos. Cuando se explora dentro de las zonas estudiadas, el método Rotativo en la zona de Bajo y Medio, fue el que presentó las mejores condiciones de disponible según los valores de referencia.

La descripción de la partición botánica de la masa de forraje disponible a través de técnicas multivariadas mostró, en primera instancia, dos conjuntos diferenciados de grupos botanales, según el método de pastoreo y el nivel de OF, por tipos vegetativos y productivos respectivamente.

Los grupos de especies categóricamente cespitosas de alto porte y alta respuesta productiva se asociaron al método Rotativo, mientras que los grupos de especies de menor porte (hierbas menores y enanas), estoloníferas – rizomatosas (*Paspalum notatum* y *Axonopus affinis*) más adaptadas al pastoreo y leguminosas nativas (*Medicago lupulina*), se asociaron al Continuo. Cabe señalar que hubo excepciones, atribuibles a una mayor proporción presente de la zona de Litosol en las parcelas, como el caso de asociación del grupo *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica* al método Rotativo.

Los mejores tipos productivos (*Festuca arundinaceae*, leguminosas naturalizadas, anuales invernales finas, perennes estivales finas, perennes invernales tiernas – finas y anuales estivales finas) se asociaron al nivel Alto de OF. Por su parte, los tipos productivos duros (perennes estivales duros y *Paspalum quadrifarium*) mostraron fuerte asociación al nivel Bajo de OF; evidentemente, en estos tratamientos y a causa del método de análisis multivariado utilizado (componentes principales), la mayor presión de pastoreo sobre los grupos preferidos incrementa la representatividad en la masa de forraje de aquellos grupos más rechazados.

La descripción a través de las zonas estudiadas permitió identificar diferentes comunidades vegetales para cada ambiente contrastante. En la zona de Litosol, fue dominante el grupo *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica*, caracterizado por la gran adaptabilidad de estas especies a condiciones adversas, junto a los grupos *Stipa setigera* y *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis*. En la zona Media, el grupo dominante fue *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis*,

especies adaptadas al pastoreo y a tapices con menor competencia por el recurso luz, junto a *Stipa setigera* y otras perennes estivales tiernas – finas. En la zona de Bajo, dominaron los grupos *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica*, y *Festuca arundinaceae*, favorecidos por las condiciones edáficas de alta aptitud productiva de la zona.

Relacionando el comportamiento de las alturas promedio y la composición botánica, se infiere el efecto sobre la estructura de la pastura. En los Continuos, las menores alturas promedio y la mayor concentración de los registros en estratos inferiores (0 – 4 cm y 4 – 8 cm), probablemente, sea consecuencia de los grupos asociados a estos tratamientos, que constituyeron especies de bajo porte, así como estoloníferas – rizomatosas. En los Rotativos, las mayores alturas promedio y la mayor distribución vertical en estratos superiores, refleja la asociación a estos tratamientos de especies cespitosas y de mayor porte, como *Festuca arundinaceae* y *Paspalum quadrifarium*. Por otra parte, los registros de altura muy extremos, obtenidos intersticialmente en los tratamientos de nivel Bajo de OF, se asociaron a la presencia de especies de tipo vegetativo cespitoso y de tipo productivo duro (perennes estivales duras y *Paspalum quadrifarium*).

El análisis estadístico para los grupos botanales que mostraron significancia tanto para las interacciones de los factores como para los factores individuales, detectó resultados coincidentes a los observados en el análisis multivariado descriptivo. Los restos secos mostraron diferencias significativas en las interacciones ZxOF y MxOF, pero las bajas magnitudes llevaron a despreciar los resultados. Los grupos *Festuca arundinacea* y *Cynodon dactylon* y *Bouteloua megapotamica*, presentaron diferencias significativas en la interacción ZxM, destacando en la zona de Bajo y método Rotativo. El grupo *Stipa setigera* tuvo diferencias significativas a nivel del factor individual OF, con mayor aporte en el nivel Alto de OF; lo que reafirma el efecto positivo que presentan frecuencias e intensidades de pastoreo bajas en la promoción de perennes invernales cespitosas de interés (Boggiano et al., 2005), coincidente con el manejo de las especies invernales propuestos por Rosengurt (1979).

En cuanto a las variables animales, la carga animal (kg PV/ha ó UG/ha) resultó muy similar en todos los tratamientos y estable en todo el período evaluado, con valores superiores en el nivel Bajo de OF bajo ambos métodos de pastoreo. Las ganancias medias diarias (kg PV/a/día) no se diferenciaron significativamente entre los tratamientos, si bien se observa una tendencia a mejores desempeños individuales en los Continuos, efecto atribuible al método. El pastoreo continuo favorece la oportunidad de selección, mejorando la dieta cosechada frente a las situaciones de estructura de pastura sub-óptimas constatadas anteriormente. Las ganancias por unidad de área (kg PV/ha) presentaron comportamiento similar, dadas las bajas magnitudes de las diferencias obtenidas. Respecto a esto, cabe recordar que el desempeño individual no tuvo diferencias significativas, y la carga

media (animales/día) no mostró valores fuertemente contrastantes entre tratamientos.

Relacionando el desempeño animal individual y la evolución de los niveles de OF, se observa que la OF no fue determinante de los resultados obtenidos. Si bien la condición de OF a nivel Alto fue superior respecto al nivel Bajo de OF, en ambos métodos de pastoreo, debe notarse que el nivel de OF promedio comprende la disponibilidad total de forraje en cada tratamiento, abarcando todas las situaciones de zonas y parcelas, heterogéneas en condiciones estructurales de la pastura. En los Rotativos, es probable que la mayor parte del ciclo de pastoreo haya transcurrido en parcelas donde las condiciones de estructura de la pastura eran sub-óptimas; mientras que las condiciones estructurales de unas pocas parcelas, de alta productividad, en la zona de Bajo, podrían haber sobreestimado el valor de OF promedio. En los Continuos, si bien el nivel Alto de OF presenta valores superiores, el nivel Bajo de OF logra el mismo comportamiento en desempeño animal individual, a niveles inferiores de OF; lo que podría explicarse por diferentes proporciones de las zonas estudiadas en el área (posiblemente, mayor participación de la zona de Bajo en el Continuo a Baja OF), afectando directamente en la calidad de la dieta cosechada.

## 7. CONCLUSIONES

La estructura de la pastura (altura) se encuentra determinada por las condiciones edáficas, el método de pastoreo, y con respuestas independientes, según el nivel de OF, asociando alturas mayores con variabilidades más altas.

La heterogeneidad espacial se encuentra condicionada por el nivel de OF y las diferentes condiciones edáficas, independientemente del método de pastoreo utilizado.

Las condiciones edáficas determinan la composición botánica, y dentro de estas, se evidencian respuestas independientes según el método de pastoreo y el nivel de OF.

La respuesta animal individual no obtuvo diferencias según el método de pastoreo y el nivel de OF utilizado.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguinaga, A. J. Q., Frizzio, A., Nabinger, C., Carvalho, P. C., Aguinaga, A. A. Q., Guma, J. M. C. R., & Cauduro, G. F. (2004). Efeito da manipulação da oferta de forragem no bioma Campos Sulinos na produção primária e secundária. En S. Saldanha, M. Bemhaja, E. Moliterno, & F. Olmos (Eds.), *XX Reunión del grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical – Grupo Campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas* (pp. 313-317). Universidad de la República.
- Aguirre, E. (2018). Evolución reciente de la actividad ganadera en Uruguay (2010-2017): Metodología y primeros resultados. En *Anuario OPYPA 2018* (pp. 457-470). MGAP.  
<https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuario%202018/ANUARIO%20OPYPA%202018%20WEB%20con%20v%C3%ADnculo.pdf>
- Allen, V. G., Batello, C., Berretta, E. J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., McIvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., & Sanderson, M. (2001). An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, 66(1), 2-28.
- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echeverría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos de Uruguay: Tomo I. Clasificación de suelos*. MAP.
- Ayala, W., & Bermúdez, R. (2005). Estrategias de manejo en campos naturales sobre suelos de lomadas en la región Este. En R. Gómez & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural* (pp. 41-50). INIA.
- Bailey, D. W., & Provenza, F. D. (2008). Mechanisms Determining Large-Herbivore Distribution. En H. H. T. Prins & F. Van Langevelde (Eds.), *Resource Ecology: Spatial and Temporal Dynamics of Foraging* (pp. 7-28). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6850-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6850-8_2)
- Barnes, D. L., & Denny, R. P. (1991). Comparisons of continuous and rotational grazing on veld at two stocking rates. *Journal of the Grassland Society of Southern Africa*, 8(4), 168-173.
- Barnes, M. K., Norton, B. E., Maeno, M., & Malechek, J. C. (2008). Paddock Size and Stocking Density Affect Spatial Heterogeneity of Grazing. *Rangeland Ecology & Management*, 61(4), 380-388. <https://doi.org/10.2111/06-155.1>
- Barthram, G. T. (1986). Experimental techniques: The HFRO sward stick. En Hill Farming Research Organization (Ed.), *Biennial Report 1984-85* (pp. 29-30).

- Bemhaja, M. (2005). Composición y productividad de comunidades de campo natural sobre suelos de areniscas de Tacuarembó. En R. Gómez & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural* (pp. 85-91). INIA.
- Berretta, E. J. (1989). Técnicas para evaluar la dinámica de pasturas naturales en pastoreo. En N. J. Nuernberg (Coord.), *XI Reunião do Grupo Técnico Regional do Cone Sul em Melhoramento e Utilização dos Recursos Forrageiros das Áreas Tropical e Subtropical* (pp. 129-147). EMPASC.
- Berretta, E. J. (1995). Campo natural: Valor nutritivo y manejo. En D. Risso, E. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y Manejo de Pasturas* (pp. 113-127). INIA.
- Berretta, E. J. (2000). Manejo del Campo Natural. *El País Agropecuario* 5(60), 25-28. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10414/1/60.pdf>
- Berretta, E. J. (2005). Producción y manejo de la defoliación en campos naturales de Basalto. En R. Gómez, & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural* (pp. 61-73). INIA.
- Berretta, E. J., & Do Nascimento, Jr., D. (1991). *Glosario estructurado de términos sobre pasturas y producción animal*. IICA; PROCISUR.
- Berretta, E. J., Levratto, J. C., Zamit, W. S., Bemhaja, M., Pittaluga, O., Silva, J. A. Clariget, J. B., & Guerra, J. C. (1990). Efecto del sistema de pastoreo, relación lanar/vacuno y carga animal sobre la producción y utilización de pasturas naturales: I. Evolución de la vegetación en pastoreo continuo y rotativo a igual dotación y relación lanar/vacuno 2/1. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Sociedad Uruguaya de Pasturas Naturales, Facultad de Agronomía, & Plan Agropecuario (Eds.), *II Seminario Nacional de Campo Natural* (pp. 291-298). Hemisferio Sur.
- Berretta, E. J., Risso, D. F., & Bemhaja, M. (2001). Tecnologías para la producción de forraje en Basalto. En D. J. Risso & E. J. Berretta (Eds.), *Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos de Uruguay* (pp. 11-37). INIA.
- Boggiano, P. (2015). Pasturas: Base del Uruguay productivo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 23(5), 44-45. [https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs\\_files/article/view/2510/926](https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2510/926)
- Boggiano, P., & Berretta, E. J. (2006). Factores que afectan la biodiversidad vegetal del campo natural. En A. Brasil Mittelman & J. C. Leites Reis (Eds.), *XXI Reunião do Grupo Técnico em forrageiras, do Cone Sul Grupo Campos: Desafios e oportunidades do Bioma Campos frente a expansão e intensificação agrícola* (pp. 93-104). EMBRAPA.

- Boggiano, P., Nabinger, C., Cadenazzi, M., & Maraschin, G. E. (2011). The impact of grazing intensity on photosynthetically active radiation absorbed by a fertilized natural pasture. En S. R. Feldman, G. E. Oliva, & M. B. Sacido (Eds.), *IX International Rangeland Congress: Diverse Rangelands for a Sustainable Society* (p. 645). INTA.
- Boggiano, P., Zanoniani, R., & Millot, J. C. (2005). Respuesta del campo natural a manejos con niveles crecientes de intervención. En R. Gómez & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural* (pp. 105-113). INIA.
- Bove, S. P., & Gutiérrez, M. (2021). *Respuesta a la intervención de un campo natural sobre la producción primaria y producción secundaria* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Bremm, C., Laca, E. A., Fonseca, L., Mezzalira, J. C., Elejalde D. A. G., Gonda, H. L., & Carvalho, P. C. F. (2012). Foraging behaviour of beef heifers and ewes in natural grasslands with distinct proportions of tussocks. *Applied Animal Behaviour Science*, *141*(3-4), 108-116.
- Briske, D. D., & Heitschmidt, R. K. (1991). An Ecological Perspective. En R. K. Heitschmidt & J. W. Stuth (Eds.), *Grazing Management: An Ecological Perspective* (pp. 11-26). Timber Press.
- Briske, D. D., Derner, J. D., Brown, J. R., Fuhlendorf, S. D., Teague, W. R., Hawstad, K. W., Gillen, R. L., Ash, A. J., & Willms, W. D. (2008). Rotational Grazing on Rangelands: Reconciliation of Perception and Experimental Evidence. *Rangeland Ecology Management*, *61*(1), 3-17.
- Brizuela, M. A., & Cibils, A. F. (2011). Implicancias de la carga y distribución de los animales en pastoreo en la utilización de pasturas. En C. A. Cangiano & M. A. Brizuela (Eds.), *Producción Animal en Pastoreo* (2a. ed., pp. 349-376). INTA.
- Brougham, R. W. (1956). Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. *Australian Journal of Agricultural Research*, *7*(5), 377-387. <https://doi.org/10.1071/AR9560377>
- Bryant, H. T., Blaser, R. E., Hammes, Jr., & Fontenont J. P. (1970). Symposium on Pasture Methods for Maximum Production in Beef Cattle: Effect of Grazing Management on Animal and Area Output. *Journal of Animal Science*, *30*(1), 153-158. <https://doi.org/10.2527/jas1970.301153x>
- Bullock, J. M. (1996). Plant competition and population dynamics. En J. Hodgson & A. W. Illius (Eds.), *The Ecology and management of grazing systems* (pp. 69-100). CAB International.
- Carámbula, M. (1977). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2008). *Pasturas Naturales Mejoradas*. Hemisferio Sur.

- Carrera, M., González, R., González, D., & Rovira, P. (1996). *Efecto de la dotación y manejo del pastoreo en la productividad del campo natural y mejorado* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Carvalho, P. C. F. (1997). A estrutura da pastagem e o comportamento ingestivo do ruminantes em pastejo. En C. C. Jobim, G. T. Santos, & U. Cecato (Eds.), *Simpósio sobre avaliação de pastagens com animais* (pp. 25-52). Universidade Estadual do Maringá.
- Carvalho, P. C. F., Paruelo, J., & Ayala, W. (2008). La intensificación productiva en los pastizales del Río de la Plata: Tendencias y consecuencias económicas. En W. Ayala, F. Lezama, E. Barrios, M. Bemhaja, H. Saraviam, D. Formoso, & P. Boggiano (Eds.), *Bioma Campos: Innovando para mantener su sustentabilidad y competitividad* (pp. 13-24). FAO; PROCISUR; INIA.
- Carvalho, P. C. F., Prates, A. P., Moojen, F. G., Szymczak, L., Albuquerque, P. A., Neto, G. F. S., Savian, J. V., Eloy, L., de Moraes, A., & Bremm, C. (2019). Métodos de pastoreio: Uma perspectiva alternativa a décadas de debate e pouco avanço conceitual. En U. Cecato, D. Mamédio, R. Sanches, V. Oliveira, & S. Galbeiro (Eds.), *V Simpósio de Produção Animal a Pasto*. Nova Stapha.
- Carvalho, P. C. F., Ribeiro, H. M. N., Poli, C. H. E. C., de Moraes, A., & Delagarde, R. (2001). Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. En W. R. S Mattos (Org.), *Anais da XXXVIII Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia* (pp. 853-871). SBZ.
- Carvalho, P. C. F., Trindade, J. K., Mezzalira, J. C., Poli, C. H. E. C., Nabinger, C., Genro, T. C. M., & Gonda, H. (2009). Do bocado ao pastoreio de precisão: Compreendendo a interface planta animal para explorar a multifuncionalidade das pastagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(supl. esp.), 109-122.
- Casalás, F. (2019). *Dinámica espacio temporal de la estructura del campo natural bajo dos ofertas de forraje* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29817>
- Cejas, V. (2016). *Caracterización de la composición botánica de un campo natural bajo diferentes alternativas de intervención* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/19657>
- Chapman D. F., & Lemaire, G. (1993). Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. En M. J. Baker (Ed.), *Grasslands of Our World* (pp. 55-64). SIR Publishing.

- Chapman, D. F., Parsons, A. J., Cosgrove, G. P., Barker, D. J., Marotti, D. M., Venning, S. M., & Rutter, S. M. (2007). Impacts of Spatial Patterns in Pasture on Animal Grazing Behavior, Intake and Performance. *Crop Science*, 47(1), 399-415. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.01.0036>
- Cid, M. S., & Brizuela, M. A. (1998). Heterogeneity in tall fescue pastures created and sustained by cattle grazing. *Journal of Range Management*, 51(6), 644-649.
- Colabelli, M., Agnusdei, M., Mazzanti, A., & Labreveux, M. (1998). *El proceso de crecimiento y desarrollo de las gramíneas como base para el manejo de la defoliación*. Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso\\_crecimiento.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso_crecimiento.pdf)
- Cruz, P., & Boval, M. (2000). Effect of Nitrogen on Some Morphogenetic traits of Temperate and Tropical perennial forage grasses. En G. Lemaire, J. Hodgson, A. Moraes, A. D. de Moraes, C. Nabinger, & P. C. F. Carvalho (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 151-168). CABI Publishing.
- Da Cruz, F. (1998). *Dinâmica de crescimento, desenvolvimento e desfolhação em Andropogon lateralis Nees* [Tesis de maestría]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Da Silva Brum, M., Ferreira de Quadros, F. L., Dubal Martins, J., Maixner, A. R., Ebling Rossi, G., & Guerra Bandinelli, D. (2008). Produção animal e estrutura de uma pastagem natural submetida a diferentes sistemas de manejo. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 30(1), 9-16.
- Da Trindade, J. K., Bonnet, O., Wallau, M., & Genro, T. C. M. (2019). Consumo de forragem. En P. C. Carvalho, M. Wallau, C. Bremm, O. Bonnet, J. K. Da Trindade, F. Quevedo da Rosa, T. Silva de Freitas, F. Gomes, & C. Nabinger (Eds.), *Nativão: 30 anos de pesquisa em campo nativo* (pp. 39-41). Viapampa.
- Da Trindade, J. K., Neves, F. P., Pinto, C. E., Bremm, C., Mezzalira, J. C., Nadin, L. B., Genro, T. C. M., Gonda, H. I., & Carvalho, P. C. F. (2016). Daily Forage Intake by Cattle on Natural Grassland: Response to Forage Allowance and Sward Structure. *Rangeland Ecology and Management*, 69(1), 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2015.10.002>
- De Mello, S. (2013). *Estudio climatológico y regionalización de heladas en Uruguay* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República. [http://www.meteorologia.edu.uy/wp-content/uploads/2020/Tesis/TF\\_sdm.pdf](http://www.meteorologia.edu.uy/wp-content/uploads/2020/Tesis/TF_sdm.pdf)

- De Souza, A. G., Maraschin, G. E., & Boldrini, I. I. (1989). Evolução e produção animal da pastagem nativa sob pastejo contínuo e rotativo. En N. J. Nuernberg (Coord.), *XI Reunião do Grupo Técnico Regional do Cone Sul em Melhoramento e Utilização dos Recursos Forrageiros das Áreas Tropical e Subtropical* (pp. 315-323). EMPASC.
- Dirección Nacional de Energía. (2022). *Informe sector primario: Agro, Energía y Minería*. MIEM.
- Di Virgilio, A., Lambertucci, S. A., & Morales, J. M. (2019). Sustainable grazing management in rangelands: Over a century searching for a silver bullet. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (283), Artículo e106561. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.05.020>
- Do Carmo, M., Espasandín, A., Bentancor, D., Olmos, F., Scarlato, S., Carriquiry, M., & Soca, P. (2013). Cambios en la oferta de forraje y su efecto sobre la productividad primaria y secundaria de sistemas criadores con diversos grupos genéticos bajo pastoreo de campo natural. En P. Soca, A. Espasandín, & M. Carriquiry (Eds.), *Efecto de la Oferta de Forraje y Grupo Genético de las vacas sobre la Productividad y Sostenibilidad de la Cría Vacuna en Campo Natural* (pp. 43-54). INIA.
- Dos Santos, J., Riccetto, J., & Ríos, C. (1992). *Efectos del método de pastoreo, relación lanar/vacuno y dotación sobre la productividad de pasturas naturales* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Ducós, G., & Carriquiry, E. (2017). Sobre sistemas de pastoreo, pastoreo Voisin, racional, rotativo, diferido o con descansos: El reclamo a la investigación. *Revista FUCREA*, 12(53), 46-48.
- Duhalde, M. E., & Silveira, M. I. (2018). *Efecto de la fertilización nitrogenada y mejoramiento de campo natural sobre la productividad invierno – primaveral* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Durán, A., Aguirre, L., Altamirano, A., Alvarez, C., Cayssials, R., Da Silva, H., Echevarría, A., Falco, L., Liesegang, J., May, H., Molfino, J., Morelli, C., Panario, D., Piñeyrua, J., Puentes, R. Sacco, G., Sganga, J., Terra, J., Trambauer, A., ..., Kouyoumdjián, K. (1976). *Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay 1:1.000.000* [Mapa]. MAP.
- Federico, J. L., Hitateguy, J. E., & Mussio, P. A. (1993). *Evaluación de un sistema de pastoreo sobre pasturas de Cretácico* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Formoso, D. (2005). La investigación en utilización de pasturas naturales desarrollada por el Secretariado Uruguayo de la Lana. En R. Gómez & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural* (pp. 51-59). INIA.

- Freitas, T. M. S. (2003). *Dinâmica da produção de forragem, comportamento ingestivo e produção de ovelhas Île de France em pastagem de azevém anual (Lolium multiflorum Lam.) em resposta a doses de nitrogênio* [Tesis de maestría]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Gaggero, R., Gambetta, O., Laca, L., & Mateo, H. (1996). *Efecto de la dotación y manejo del pastoreo en la productividad del campo natural y mejorado* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Galli, J. R., & Cangiano, C. A. (1998). Relación entre la estructura de la pastura y las dimensiones del bocado y sus implicancias en el consumo en bovinos. *Revista Argentina de Producción Animal*, 18(3-4), 247-261.
- Gammon, D. M. (1978). A review of experiments comparing systems of grazing management on natural pasture. *Proceedings of the Annual Congresses of the Grassland Society of Southern Africa*, 13(1), 75-82.  
<http://dx.doi.org/10.1080/00725560.1978.9648838>
- Gonçalves, E. N., Carvalho, P. C. F., Gonçalves da Silva, C. E., Teixeira dos Santos, D., Queirolo Díaz, J. A., Baggio, C., & Nabinger, C. (2009). Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: Padrões de desfolhação e seleção de dietas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(4), 611-617.
- Google. (2024). *Google Earth Pro (7.3.6.9796)* [Software].  
<https://earth.google.com/web/>
- Gregorini, P., Agnelli, L., & Masino, C. (2007). *Producción animal en pastoreo: Definiciones que clarifican significados y facilitan la comprensión y utilización de términos usados comúnmente*. Sitio Argentino de Producción Animal.  
[https://www.produccionanimal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/61-produccion\\_en\\_pastoreo.pdf](https://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/61-produccion_en_pastoreo.pdf)
- Harris, W. (1978). Defoliation as a determinant of the growth, persistence and composition of pasture. En J. R. Wilson (Ed.), *Plant Relations in Pastures* (pp. 67-85). CSIRO.
- Heitschmidt, R. K., Dowhower, S. L., & Walker, J. W. (1987a). 14 vs. 42 Paddock Rotational Grazing: Aboveground Biomass Dynamics, Forage Production, and Harvest Efficiency. *Journal of Range Management*, 40(3), 216-223.
- Heitschmidt, R. K., Dowhower, S. L., & Walker, J. W. (1987b). Some Effects of a Rotational Grazing Treatment on Quantity and Quality of Available Forage and Amount of Ground Litter. *Journal of Range Management*, 40(4), 318-321.
- Heitschmidt, R. K., Frasure, J. R., Price, D. L., & Rittenhouse, L. R. (1982). Short Duration Grazing at the Texas Experimental Ranch: Weight gains of growing heifers. *Journal of Range Management*, 35(3), 375-379.

- Heitschmidt, R. K., & Taylor, C. A. (1991). Livestock Production. En R. K. Heitschmidt & J. W. Stuth (Eds.), *Grazing Management: An Ecological Perspective* (pp. 161-177). Timber Press.
- Heitschmidt, R. K., & Walker, J. (1983). Short Duration Grazing and the Savory Grazing Method in Perspective. *Rangelands*, 5(4), 147-150.
- Heringer, I., & Carvalho, P. C. F. (2002). Ajuste da carga animal em experimentos de pastejo: Uma nova proposta. *Ciência Rural, Santa Maria*, 32(4), 675-679. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400021>
- Hodgson, J. (1979). Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*, 34(1), 11-18.
- Hodgson, J. (1985). Grazing behaviour and herbage intake. En J. Frame (Ed.), *Grazing* (pp. 51-63). British Grassland Society.
- Hodgson, J. (1990). *Grazing Management: Science to Practice*. Longman.
- Holechek, J. L., Pieper, R. D. & Herbel, C. H. (1989). *Range management. Principles and Practices*. Prentice-Hall.
- INIA Uruguay. (2022). *INIA Podcast - EPISODIO 7: Campo Natural* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=IEunL50Fzgc>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (2023, 20 de diciembre). *Características climáticas*. <https://inimet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/caracteristicas-climaticas>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (2024, 12 de enero). *Tablas estadísticas*. <https://www.inimet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>
- Kumar, M., & Monteith, J. L. (1981). Remote sensing of crop growth. En H. Smith (Ed.), *Plants and the daylight spectrum* (pp. 133-144). Academic Press.
- Laca, E. A. (2008). Foraging in a heterogeneous environment. En H. H. T. Prins & F. Van Langevelde (Eds.), *Resource Ecology: Spatial and Temporal Dynamics of Foraging* (Vol. 23, pp. 81-100). Springer.
- Laca, E. A. (2009). New approaches and tools for grazing management. *Rangeland Ecology Management*, 62(5), 407-417.
- Laca, E. A. (2011). Escalas de heterogeneidad espacial en sistemas pastoriles. En C. A. Cangiano & M.A. Brizuela (Eds.), *Producción Animal en Pastoreo* (2da. ed., pp. 349-376). INTA.
- Laca, E. A., & Lemaire, G. (2000). Measuring sward structure. En L. 't Mannetje & R. M. Jones (Eds.), *Field and laboratory methods for grassland and animal production research* (pp. 103-118). CABI Publishing.

- Lemaire, G., & Chapman, D. F. (1996). Tissue flows in grazed plant communities. En J. Hogdson & A. W. Illius (Eds.), *The ecology of management of grazing systems* (pp. 3-36). CABI Publishing.
- Lopes, S. (2018). *Variabilidade espacial da produção de forragem em sistema rotativo e contínuo na ovinocultura* [Trabajo final de grado]. Universidade Federal do Tocantins.
- Luberriaga, J. D., & Robuschi, M. (2019). *Respuesta a la intervención de un campo natural sobre la producción primaria y composición botánica* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/29404>
- Maciel, F. (1907). La alfalfa y la lupulina. *Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria*, 3(4-6), 113-117.  
[https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/136254/La\\_alfalfa\\_y\\_la\\_lupulina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/136254/La_alfalfa_y_la_lupulina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Martínez, M., & Pereira, M. (2011). Sistemas de pastoreo y relación ovino/bovino. En M. Martínez & M. Pereira (Eds.), *Pautas para el manejo del campo natural*. Instituto Plan Agropecuario.
- Mezzalira, J. C., Carvalho, P. C., Da Trindade, J. K., Bremm, C., Fonseca, L., Fonseca do Amaral, M., & Reffatti, M. V. (2012). Produção animal e vegetal em pastagem nativa sob diferentes ofertas de forragem por bovinos. *Ciência Rural*, 42(7), 1264-1270.
- Millot, J. C., Risso, D., & Methol, R. (1987). *Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas de ganaderas del Uruguay*. FUCEA.
- Molfino, J. H. (2009). *Estimación del Agua Disponible en los grupos CONEAT: Metodología empleada*. MGAP. [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/estimacion\\_de\\_agua\\_disponible\\_en\\_los\\_grupos\\_coneat\\_metodologia\\_empleada.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/estimacion_de_agua_disponible_en_los_grupos_coneat_metodologia_empleada.pdf)
- Moojen, E. L., & Maraschin, G. E. (2002). Potencial produtivo de uma pastagem nativa do Rio Grande do Sul submetida a níveis de oferta de forragem. *Ciência Rural*, 32(1), 127-132.
- Mott, G. (1960). Grazing pressure and measurement of pasture production. En C. L. Skidmore, P. J. Boyle, & L. W. Raymon (Eds.), *Proceedings* (pp. 606-611). Alden Press.
- Mott, G., & Lucas, H. (1952). The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. En R. E. Wagner, W. Myers, S. H. Gaines, & H. L. Lucas (Eds.), *Proceedings* (pp. 1380-1398). Pennsylvania State College.

- Nabinger, C. (1999). Princípios da Exploração Intensiva de Pastagens. En A. M. Peixoto, J. C. de Moura, & V. Pedroso de Faria (Eds.), *Produção de Bovinos a Pasto* (pp. 18-95). FEALQ.
- Nabinger, C., & Carvalho, P. C. F. (2009). Ecofisiología de Sistemas Pastoriles: Aplicaciones para su sustentabilidad. *Agrociencia (Uruguay)*, 12(3), 18-27.
- Nabinger, C., Carvalho, P. C. F., Cassiano Pinto, E., Mezzalira, J. C., Marins Brambilla, D., & Boggiano, P. (2011). Servicios ecosistémicos de las praderas naturales: ¿Es posible mejorarlos con más productividad? *Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, 19(3-4), 27-34.
- Neves, F. P., Carvalho, P. C. F., Nabinger, C., Carassai, I. J., Dos Santos, D. T., & Da Veiga, G. V. (2009). Caracterização da estrutura da vegetação numa pastagem natural do Bioma Pampa submetida a diferentes estratégias de manejo da oferta de forragem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(9), 1685-1694.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022). *Anuario Estadístico Agropecuario*. MGAP.  
[https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2022/O\\_MGAP\\_Anuario\\_estad%C3%ADstico\\_%202022-DIGITAL.pdf](https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2022/O_MGAP_Anuario_estad%C3%ADstico_%202022-DIGITAL.pdf)
- Olmos, F., Sosa, M., Do Carmo, M., Cal. V., Bentancur, D., Soca, P., García, E., & Genro, C. (2013). Monitoreo de cambios en la composición botánica. En P. Soca, A. Espasandín, & M. Carriquiry (Ed.), *Efecto de la Oferta de Forraje y Grupo Genético de las vacas sobre la Productividad y Sostenibilidad de la Cría Vacuna en Campo Natural* (pp. 75-80). INIA.
- Oyhantçabal, W., Bergós, S., García, F., & Balderrin, V. (2019). Proyecto: “Producción ganadera climáticamente inteligente y restauración de tierras en pastizales uruguayos”: Los 5 beneficios de cambiar la manera de gestionar nuestro campo natural. En *Anuario OPYPA 2019* (pp. 439-448). MGAP.  
<https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuario%202019/ORIGINAL%202019%20OPYPA%20INTERACTIVO%20agregado%2018-12-2019.pdf>
- Parsons, A. J., Leafé, E. L., Collett, B., Penning, P. D., & Lewis, J. (1983). The physiology of grass production under grazing: 2. Photosynthesis, crop growth and animal intake of continuously grazed swards. *Journal of Applied Ecology*, 20(1), 127-139. <https://www.jstor.org/stable/2403381>
- Pereira, M. (2006). Paja mansa. *Revista Plan Agropecuario*, (118), 65.
- Perin, R. (1990). *Rendimiento de forragem e desempenho animal de uma pastagem nativa melhorada sob pastejo contínuo e rotativo* [Tesis de maestría]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Pinto, C. E., Silveira da Fontoura Júnior, J. A., Frizzo, A., Freitas, T. M. S., Nabinger, C., & Carvalho, P. C. (2008). Produções primária e secundária de uma pastagem natural da Depressão Central do Rio Grande do Sul submetida a diversas ofertas de fitomassa aérea total. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(10), 1737-1741.
- Pinto, C. E., Wallau, M., & Boldrini, I. (2019). Estructura da vegetação e composição florística. En P. C. Carvalho, M. Wallau, C. Bremm, O. Bonnet, J. K. da Trindade, F. Quevedo da Rosa, T. Silva de Freitas, F. Gomes & C. Nabinger (Eds.), *Nativão: 30 anos de pesquisa em campo nativo* (pp. 16-20). Viapampa.
- Poppi, D. P., Hughes, T. P., & L'Huillier, P. J. (1987). Intake of pastures by grazing ruminants. En A. M. Nicol (Ed.). *Feeding Livestock on Pastures* (pp. 55-63). New Zealand Society of Animal Production.
- Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W., & Rossi, P. (1985). *Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a la Escala 1:500.000*. MIE.  
<https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/Memoria%20carta%20geologica%20del%20Uruguay.pdf>
- Rendón, J. (1968). *Intensidad y frecuencia de defoliación en una pradera de Trifolium repens y Phalaris tuberosa bajo pastoreo continuo con ovinos* [Tesis de maestría]. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Ring II, C. B., Nicholson, R. A., & Launchbaugh, J. L. (1985). Vegetational Traits of Patch-grazed Rangeland in West-central Kansas. *Journal of Range Management*, 38(1), 51-55.
- Ríos, A. (2001). Dinámica y control de *Cynodon dactylon* en sistemas mixtos de siembra directa y laboreo convencional. En R. Díaz Rossello (Ed.), *Siembra directa en el Cono Sur* (pp. 211-224). PROCISUR.
- Rosengurtt, B. (1946). *Estudios sobre praderas naturales del Uruguay: 5<sup>ta</sup> Contribución*. Rosgal.
- Rosengurtt, B. (1979). *Tablas de Comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay*. Dirección General de Extensión Universitaria.
- Rosengurtt, B., Gallinal, J. P., Bergalli, L., Aragone, L., & Campal, E. (1939). La variabilidad en la composición de praderas. *Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos*, 11(3), 28-33.
- Rosito, J. M., & Maraschin, G. E. (1984). Efeito de sistemas de manejo sobre a flora de uma pastagem. *Pesquisa agropecuaria brasileira*, 19(3), 311-316.

- Seibert, L. (2015). *Efeito do pastoreio rotativo sobre a composição florística e estrutural de uma pastagem natural do bioma Pampa, Santa Maria, RS* [Tesis de maestría]. Universidade Federal de Santa Maria.
- Setelich, E. A. (1994). *Potencial produtivo de uma pastagem natural do Rio Grande do Sul, submetida a distintas ofertas de forragem* [Tesis de maestría]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Smetham, M. L. (1990). Pasture Management. En R. H. M Langer (Ed.), *Pastures: Their ecology and management* (pp. 197-240). Oxford University Press.
- Soares, A. B., Carvalho, P. F. C., Nabinger, C., Trindade, J. P. P., Da Trindade, J. K., & Mezzalira, J. C. (2015). Dinâmica da composição botânica numa pastagem natural sob efeito de diferentes ofertas de forragem. *Ciência Rural*, 41(8), 1459-1465.
- Soca, P., Orcasberro, R., Rinaldi, C., Apezteguía, E., Espasandín, A., Berrutti, I., & Aguilar, C. (1993). Presión de pastoreo y performance de terneros Holando en pastizal nativo mejorado. *Ciencia e Investigación Agraria*, 20(2), 128.
- Sollenberger, L. E., Agouridis C. T., Vanzant, E. S., Franzluebbbers, A. J. & Owens, L. B. (2012). Prescribed Grazing on Pasturelands. En C. J. Nelson (Ed.), *Conservation Outcomes from Pastureland and Hayland Practices: Assessment, Recommendations, and Knowledge Gaps* (pp. 111-204). U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. [https://uknowledge.uky.edu/bae\\_facpub/40/](https://uknowledge.uky.edu/bae_facpub/40/)
- Sollenberger, L. E., Vendramini, J. M. B., Dubeux, J. C. B. Jr., & Wallau, M. (2009). *Grazing management concepts and practices*. UF/IFAS Extension. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AG160>
- Teague, R., Provenza, F., Kreuter, U., Steffens, T., & Barnes, M. (2013). Multi-paddock grazing on rangelands: Why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience? *Journal of Environmental Management*, 128(1), 699-717.
- Thorntwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. *Publications in Climatology*, 10(3), 185-243.
- Tothill, J.C., Hargreaves, J. N. G., Jones, R. M. & McDonald C. K. (1992). *BOTANAL-A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition :I. Field Sampling*. CSIRO.
- Vallentine, J. F. (1990). *Grazing Management*. Academic Press.
- Vendramini, J. & Sollenberger, L. (2020). *Impact of Grazing Methods on Forage and Cattle Production*. UF/IFAS Extension. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AG268>

- Wade, M. H., & Agnusdei, M. (2001). *Morfología y estructura de las especies forrajeras y su relación con el consumo*. Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/76-morfologia\\_y\\_estructura\\_de\\_forrajeras.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/76-morfologia_y_estructura_de_forrajeras.pdf)
- Wallau, M., Azambuja, J., & da Silva Neto, G. (2019). Caracterização da região e da área experimental. En P. C. Carvalho, M. Wallau, C. Bremm., O. Bonnet, J. K. da Trindade, F. Quevedo da Rosa, T. Silva de Freitas, F. Gomes, & C. Nabinger (Eds.), *Nativão: 30 anos de pesquisa em campo nativo* (pp. 7-14). Viapampa.

## 9. ANEXOS

**Anexo A***Clasificación de transectas fijas por zona para los tratamientos Continuos*

<b>Continuo Alta Oferta</b>		<b>Continuo Baja Oferta</b>	
<b>Transecta</b>	<b>Zona</b>	<b>Transecta</b>	<b>Zona</b>
1	Bajo	1	Medio
2	Litosol	2	Bajo
3	Litosol	3	Medio
4	Medio	4	Medio
5	Medio	5	Medio
6	Bajo	6	Bajo
7	Medio	7	Medio
8	Litosol	8	Medio
9	Medio	9	Litosol
10	Medio	10	Litosol
11	Medio	11	Litosol
12	Medio		
13	Medio		
14	Bajo		

**Anexo B***Clasificación de parcelas por zona para los tratamientos Rotativos*

<b>Rotativo Alta Oferta</b>		<b>Rotativo Baja Oferta</b>	
<b>Parcela</b>	<b>Zona</b>	<b>Parcela</b>	<b>Zona</b>
1	Litosol	1	Litosol
2	Litosol	2	Litosol
3	Litosol	3	Litosol
4	Litosol	4	Litosol
5	Litosol	5	Medio
6	Litosol	6	Medio
7	Medio	7	Medio
8	Medio	8	Medio
9	Medio	9	Litosol
10	Medio	10	Litosol
11	Medio	11	Medio
12	Bajo	12	Medio
13	Bajo	13	Bajo
14	Bajo	14	Bajo

**Anexo C**

*Clasificación de las jaulas ubicadas en los tratamientos Continuos por zona en estudio*

<b>Continuo Alta</b>		<b>Continuo Baja</b>	
<b>Jaula</b>	<b>Zona</b>	<b>Jaula</b>	<b>Zona</b>
1	Bajo	1	Medio
2	Litosol	2	Litosol
3	Medio	3	Medio
4	Medio	4	Bajo
5	Litosol	5	Medio
6	Medio	6	Bajo
7	Bajo	7	Medio
		8	Medio

**Anexo D**

*Listado de componentes considerados para la realización del método BOTANAL*

<b>GRUPO</b>	<b>Especie/s</b>	<b>Abreviatura</b>
1	<i>Paspalum notatum</i> + <i>Axonopus affinis</i>	Pn + Ax
2	<i>Bouteloua megapotamica</i> + <i>Cynodon dactylon</i>	Cd + Bm
3	Perennes Estivales estoloníferas Otras (*)	PE estolonifera-otra
4	Perennes Estivales Finas	PEF
5	Perennes Estivales Tiernas y Tiernas - Ordinarias	PET - TO
6	Perennes Estivales Ordinarias	PEO
7	<i>Paspalum quadrifarium</i>	P. quad.
8	Perennes Estivales Duras	PED
9	<i>Festuca arundinaceae</i>	Festuca
10	<i>Stipa setigera</i>	S. setigera
11	Perennes Invernales Finas – Tiernas	PIFT
12	Perennes Invernales Ordinarias	PIO
13	<i>Stipa charruana</i>	S. charr.
14	Perennes Invernales Duras Otros (*)	PID otros
15	Anuales Estivales Tiernas - Finas	AETF
16	Anuales Invernales Finas	AIF
17	Leguminosas nativas (no introducidas)	Leg
18	Anuales Invernales Ordinarias (*)	AIO
19	Leguminosas naturalizadas (introducidas)	Leg nat.
20	Ciperáceas + Juncáceas	Cyp - Jun
21	Hierbas enanas	HE
22	Hierbas menores	HM
23	<i>Eryngium horridum</i> + Cardos	Eh + Card
24	Restos secos	RS

*Nota. (\*)* No se relevaron en el período de evaluación.

**Anexo E***Códigos de proporción preestablecidos para la realización del método BOTANAL*

<b>Nro. Especies</b>	<b>COD</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	100	70	0	0	0	0
<b>12</b>	110	70	21	0	0	0
<b>12</b>	200	45,5	45,5	0	0	0
<b>123</b>	111	70	21	9	0	0
<b>123</b>	201	45,5	45,5	9	0	0
<b>123</b>	120	70	15	15	0	0
<b>123</b>	300	33,3	33,3	33,3	0	0
<b>1234</b>	202	45,5	15,5	4,5	4,5	0
<b>1234</b>	112	70	21	4,5	4,5	0
<b>1234</b>	211	35	35	21	9	0
<b>1234</b>	130	70	10	10	10	0
<b>1234</b>	400	25	25	25	25	0
<b>1234</b>	121	70	10	10	9	0
<b>1234</b>	301	32,3	32,3	32,3	3	0
<b>12345</b>	113	70	21	3	3	3
<b>12345</b>	203	45,5	45,5	3	3	3
<b>12345</b>	302	31,3	31,3	31,3	3	3
<b>12345</b>	311	23,3	23,3	23,3	21	9

*Nota.* El método BOTANAL define un ranking de proporción (%) de hasta 5 componentes por unidad de muestreo.

**Anexo F**

*Tasas de crecimiento (kg MS/ha/día) para el área*

	<b>Fecha</b>						
	15-mar	30-mar	11-abr	3-may	16-may	6-jun	23-jun
<b>TC (kg MS/ha/día)</b>	12	13	11	10	9	7	6

*Nota.* Tasas de crecimiento (kg MS/ha/día) obtenidas a partir de información del satélite Sentinel 2 sobre una grilla de 50 puntos sobre cada tratamiento.

**Anexo G**

*Carga media para cada sub-período entre fechas de pesadas, expresadas en animales/día*

	<b>Sub - períodos</b>		
	15/3 - 11/4	11/4 - 16/5	16/5 - 23/6
<b>CA</b>			
Carga total (kg PV)	4636	4632	4618
PV Promedio Testers (kg PV)	351	360	368
Carga media (animales/día)	13	13	13
<b>CB</b>			
Carga total (kg PV)	5857	5940	5985
PV Promedio Testers (kg PV)	369	371	374
Carga media (animales/día)	16	16	16
<b>RA</b>			
Carga total (kg PV)	4602	4749	4902
PV Promedio Testers (kg PV)	366	368	374
Carga media (animales/día)	13	13	13
<b>RB</b>			
Carga total (kg PV)	5486	5684	5749
PV Promedio Testers (kg PV)	406	407	401
Carga media (animales/día)	14	14	14

*Nota.* Datos obtenidos a partir de la carga total (kg PV) y el peso vivo promedio de los animales "testers".

**Anexo H**

*ANAVA para la variable altura incluyendo la interacción triple MxOFxZ*

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Promedio de Altura (cm)	52	0,85	0,81	16,22

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	474,95	11	43,18	20,61	<0,0001
Met	240,45	1	240,45	114,80	<0,0001
OF	20,99	1	20,99	10,02	0,003
Zona	150,42	2	75,21	35,91	<0,0001
Met*OF	11,07	1	11,07	5,28	0,0268
Met*Zona	66,83	2	33,41	15,95	<0,0001
OF*Zona	3,21	2	1,60	0,77	0,4716
Met*OF*Zona	5,04	2	2,52	1,20	0,3105
Error	83,78	40	2,09		
Total	558,73	51			

## Anexo I

*ANAVA y pruebas de comparación de medias Tukey para los grupos botanales significativos en MxOFxZ*

### Cyp Junc

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Cyp Junc	24	0,56	0,15	88,97

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	145,09	11	13,19	1,37	0,2997
Método	10,13	1	10,13	1,05	0,3259
OF	24,10	1	24,10	2,50	0,1402
Zona	16,44	2	8,22	0,85	0,4512
Método*OF	14,62	1	14,62	1,51	0,2422
Método*Zona	8,28	2	4,14	0,43	0,6610
OF*Zona	4,36	2	2,18	0,23	0,8011
Método*OF*Zona	67,15	2	33,58	3,48	0,0644
Error	115,91	12	9,66		
Total	261,00	23			

**Test: Tukey Alfa=0,10 DMS=10,95699**

Error: 9,6592 gl: 12

Método	OF	Zona	Medias	n	E.E.
R	B	Medio	10,56	2	2,20 A
C	A	Medio	4,86	2	2,20 A
R	B	Litosol	4,74	2	2,20 A
C	B	Bajo	4,56	2	2,20 A
R	A	Bajo	3,35	2	2,20 A
C	B	Litosol	2,81	2	2,20 A
R	B	Bajo	2,48	2	2,20 A
R	A	Litosol	2,35	2	2,20 A
C	B	Medio	1,83	2	2,20 A
C	A	Bajo	1,73	2	2,20 A
R	A	Medio	1,38	2	2,20 A
C	A	Litosol	1,28	2	2,20 A

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ ).

**RS**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RS	24	0,89	0,79	108,66

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22,55	11	2,05	8,91	0,0003
Método	1,29	1	1,29	5,59	0,0358
OF	2,16	1	2,16	9,38	0,0099
Zona	6,93	2	3,46	15,04	0,0005
Método*OF	3,34	1	3,34	14,52	0,0025
Método*Zona	1,42	2	0,71	3,09	0,0830
OF*Zona	2,75	2	1,37	5,97	0,0159
Método*OF*Zona	4,67	2	2,33	10,14	0,0026
Error	2,76	12	0,23		
Total	25,32	23			

**Test: Tukey Alfa=0,10 DMS=1,69158**

Error: 0,2302 gl: 12

Método	OF	Zona	Medias	n	E.E.	
R	B	Medio	3,53	2	0,34	A
C	A	Medio	0,85	2	0,34	B
R	B	Litosol	0,51	2	0,34	B
C	B	Medio	0,41	2	0,34	B
R	B	Bajo	0,00	2	0,34	B
C	A	Bajo	0,00	2	0,34	B
R	A	Medio	0,00	2	0,34	B
C	A	Litosol	0,00	2	0,34	B
C	B	Litosol	0,00	2	0,34	B
R	A	Litosol	0,00	2	0,34	B
C	B	Bajo	0,00	2	0,34	B
R	A	Bajo	0,00	2	0,34	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ ).

**Anexo J**

*ANAVA para la variable altura sin incluir la interacción triple MxOFxZ*

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Promedio de Altura (cm)	52	0,84	0,81	16,30

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	469,91	9	52,21	24,69	<0,0001
Met	251,89	1	251,89	119,10	<0,0001
OF	22,57	1	22,57	10,67	0,0022
Zona	150,06	2	75,03	35,48	<0,0001
Met*OF	7,27	1	7,27	3,44	0,0708
Met*Zona	74,23	2	37,11	17,55	<0,0001
OF*Zona	3,07	2	1,53	0,73	0,4903
Error	88,82	42	2,11		
Total	558,73	51			

**Anexo K**

*ANAVA para el residuo de absoluto de las alturas (Test de Levene)*

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS Promedio de Altura (c..	52	0,41	0,29	72,28

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,44	9	1,72	3,31	0,0039
Met	1,13	1	1,13	2,18	0,1477
OF	3,31	1	3,31	6,38	0,0154
Zona	7,92	2	3,96	7,64	0,0015
Met*OF	0,80	1	0,80	1,55	0,2208
Met*Zona	0,04	2	0,02	0,04	0,9634
OF*Zona	2,36	2	1,18	2,27	0,1155
Error	21,78	42	0,52		
Total	37,22	51			

*Nota.* No se incluye la interacción triple dado que no presentó significancia para la variable altura.

## Anexo L

### *Componentes principales y autovectores para los datos estandarizados provenientes del método BOTANAL*

**Variables de clasificación:** Método, OF

#### Autovalores

Lambda	Valor	Proporción	Proporción Acumulada
1	10,35	0,49	0,49
2	6,00	0,29	0,78
3	4,66	0,22	1,00
4	0,00	0,00	1,00
5	0,00	0,00	1,00
6	0,00	0,00	1,00
7	0,00	0,00	1,00
8	0,00	0,00	1,00
9	0,00	0,00	1,00
10	0,00	0,00	1,00
11	0,00	0,00	1,00
12	0,00	0,00	1,00
13	0,00	0,00	1,00
14	0,00	0,00	1,00
15	0,00	0,00	1,00
16	0,00	0,00	1,00
17	0,00	0,00	1,00
18	0,00	0,00	1,00
19	0,00	0,00	1,00
20	0,00	0,00	1,00
21	0,00	0,00	1,00

#### Autovectores

Variables	e1	e2
Pn Aa	-0,16	-5,9E-04
Cd Bm	0,26	0,23
PEF	-0,30	-0,04
PET TO	0,29	0,11
PEO	0,26	-0,21
P quadr	0,09	-0,32
PED	-0,27	0,13
Festuca	0,31	0,05
S setigera	0,04	-0,18
PIFT	-0,27	-0,07
PIO	0,06	0,40
S charruana	-0,19	-0,22
AETF	-0,19	-0,22
AIF	0,29	-0,12
Leg nativa	-0,14	0,35
Leg	0,24	0,13
Cyp Junc	0,15	-0,23
HE	-0,28	-0,10
HM	-0,25	0,19
Eh Cardos	0,07	0,37
RS	0,12	-0,31

*Nota.* Elaborado en base a Tothill et al. (1992).

### Referencia bibliográfica

Tothill, J. C., Hargreaves, J. N. G., Jones, R. M. & McDonald C. K. (1992).  
*BOTANAL-A comprehensive sampling and computing procedure for  
estimating pasture yield and composition :1. Field Sampling*. CSIRO.

## Anexo M

*Análisis de conglomerados para cada grupo botanal en proporción de la MS disponible*

### Análisis de conglomerados

#### Promedio (Average linkage)

Distancia: (Euclidea)

Correlación cofenética= 0,851

VARIABLES estandarizadas

Casos leídos 24

Casos omitidos 0

### Variables

Pn Aa	Cd Bm	PEF	PET TO
PEO	P quadr	PED	Festuca
S setigera	PIFT	PIO	S charruana
AETF	AIF	Leg nativa	Leg
Cyp Junc	HE	HM	Eh Cardos
RS			

### Criterios de clasificación

Método

OF

Suelo

*Nota.* Incluye la interacción triple MxOFxZ.