

EFICIENCIA DE PASTOREO Y ACUMULACIÓN NETA DE FORRAJE EN *Festuca arundinacea* UTILIZADA CON DIFERENTES ALTURAS DE PASTOREO

Trabajo Final de Grado
del alumno



Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

Pergamino

EFICIENCIA DE PASTOREO Y ACUMULACIÓN NETA DE FORRAJE EN *Festuca arundinacea* UTILIZADA CON DIFERENTES ALTURAS DE PASTOREO

Trabajo Final de Grado

Del alumno

GUILLERMO ESTEBAN MEDINA

Aprobada por el Tribunal Evaluador

Camarasa, Jonatan N
Evaluador/a

Fariña, Leandro
Evaluador/a

Varea, Ivana
Evaluador/a

Beribe Maria Jose
Co-Director/a

Pacente, Ezequiel
Co-Director/a

Scheneiter, Jorge O
Director

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.
Pergamino**

Agradecimientos

A la ECANA por permitirme acceder a mi formación académica.

A mi director de tesis, Jorge Omar Scheneiter, por el apoyo incondicional brindado en todas las instancias durante la elaboración del trabajo.

A mis Co-Directores Ezequiel Pacente por las enseñanzas brindadas durante los trabajos de campo, y a María José Beribe por el apoyo al momento de realizar los análisis estadísticos.

Y muy especialmente a mi familia por acompañarme en el transcurso de mi carrera de grado.

Índice

Introducción	1
Hipótesis:	4
Objetivo general:	4
Objetivos específicos	4
Materiales y métodos	4
Manejo del pastoreo.....	5
Mediciones.....	6
Variables de respuesta	9
Diseño experimental y análisis estadístico.....	9
Condiciones climáticas	10
Resultados	11
<i>Variables de estado</i>	11
- Altura de pastoreo	11
- Índice de Área Foliar	11
Forraje en oferta y remanente	12
<i>Estructura de la pastura: Macollos</i>	14
<i>Tasa de acumulación neta de forraje</i>	16
<i>Eficiencia de pastoreo</i>	16
Discusión	17
<i>Variables de estado</i>	17
<i>Variables estructurales</i>	18
<i>Eficiencia de pastoreo</i>	19
<i>Implicancias prácticas</i>	19
Conclusiones	20
Bibliografía	21

Resumen

La festuca alta, es una de las especies forrajeras más utilizada en la Región Pampeana. En este trabajo se evaluó el efecto de la altura de la defoliación, sobre el crecimiento neto, la eficiencia de pastoreo y la estructura de la pastura, bajo un sistema de pastoreo rotativo. El estudio se realizó en Pergamino entre marzo de 2020 y diciembre de 2021. Los tratamientos consistieron en tres alturas objetivo de remanente post-pastoreo. Se simuló un sistema de pastoreo rotativo con una frecuencia de entrada de animales a las parcelas controlada por la suma térmica (~500°C). Los períodos de medición se establecieron en otoño y en primavera, y se utilizaron novillos mestizos de razas británicas. Una vez alcanzada la altura objetivo, los animales se retiraban y la parcela se cerraba hasta el próximo pastoreo. El diseño experimental fue en bloques completos (n=3). Se realizaron análisis estadísticos mediante modelos mixtos para medidas repetidas en el tiempo. Se evaluaron la tasa de acumulación neta de forraje (TAN), la eficiencia de pastoreo y las variables estructurales de la pastura. Se encontró que la TAN, fue afectada por la época del año y las condiciones climáticas entre años. La eficiencia de pastoreo se vio afectada por la altura de pastoreo y la estación del año. En cuanto a la estructura de la pastura, se observó que la altura de pastoreo afectaba parcialmente la densidad y el tamaño de los macollos, pero no el porcentaje de lámina. Además, se encontró una alta correlación entre las variables de estado al inicio y al final del período de rebrote. La cantidad de forraje remanente se identificó como un indicador confiable para predecir las magnitudes de otras variables de estado al final del período de rebrote.

Palabras Clave: *Festuca arundinacea*, altura de pastoreo, eficiencia de pastoreo; Acumulación Neta.

Introducción

La festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) es la especie forrajera perenne más difundida en la región pampeana. Del total de la superficie que ocupa en Argentina, 128.550 ha, alrededor del 85% se encuentra en la provincia de Buenos Aires (INDEC, 2020). Este nivel de difusión está relacionado a su adaptación a distintos ambientes, buena calidad forrajera y resistencia al pastoreo. Se adapta a variadas condiciones de suelo y clima, tolera sequías transitorias y breves periodos de inundación. Se destaca por su ligera tolerancia a la alcalinidad y/o salinidad, pero no a la sodicidad a diferencia del agropiro alargado (*Thynopirum ponticum*) (Kent *et al.*, 2019).

La productividad promedio de una pastura de festuca alta, en Pergamino, es de 5,4 t de materia seca por ha por año ($t\ MS\ ha^{-1}\ año^{-1}$), con variaciones, básicamente por diferencias en precipitaciones, que van desde 3,5 a 7,2 $t\ MS\ ha^{-1}\ año^{-1}$ (Bertín y Scheneiter, 1998). Las pasturas de esta especie pueden alcanzar producciones de forraje hasta las 12 $t\ MS\ ha^{-1}\ año^{-1}$ cuando son bien manejadas y fertilizadas (Agnusdei *et al.*, 2012b). Mientras que, para la región semiárida pampeana, la productividad ronda las 4 $t\ MS\ ha^{-1}\ año^{-1}$ distribuidas en otoño-invierno-primavera (Kent *et al.*, 2019).

Las mayores tasas de crecimiento se observan en primavera y en otoño, y las menores en invierno. Aunque, comparativamente con otras gramíneas templadas, el crecimiento invernal de la festuca alta es más elevado (Bertín y Rosso, 1988). Adicionalmente, la distribución del crecimiento a lo largo del año depende en gran medida del ecotipo de la festuca alta. El ecotipo Continental permanece verde todo el año con picos de crecimiento en primavera y en otoño, mientras que el ecotipo Mediterráneo concentra el crecimiento en otoño-invierno-primavera, y permanece en reposo durante el verano (Bertín y Scheneiter, 2005).

Tanto el crecimiento como la persistencia de la pastura estarán determinados por la tasa de recambio de macollos. Este recambio depende de la tasa de aparición de hojas, la cual es gobernada por la temperatura. En la medida que ésta aumenta, acelera la tasa de aparición de hojas. Cada hoja nueva que aparece tiene el potencial de producir un macollo desde una yema axilar. Cada hoja de festuca acumula 550 °C de suma térmica (temperatura base: 4°C) antes de envejecer y morir (Colabelli *et al.*, 1998). La radiación

también afecta al macollaje ya que, a medida que aumenta el volumen y la densidad de la pastura, el menor nivel de radiación en la base de la pastura resulta en un menor número de macollos, pero de mayor tamaño. Además, aquellas pasturas que son defoliadas en estado vegetativo y hasta el inicio de la floración, presentan una elevada densidad de población de macollos, en comparación con aquellas que son defoliadas en estados más avanzados del estado reproductivo (Sacoccia y Scheneiter, 2017).

El estudio de la frecuencia y la intensidad de la defoliación de pasturas de gramíneas y su efecto sobre el flujo de tejidos, la estructura de la pastura, la interacción con el ambiente y la respuesta animal ha recibido mucha atención y los efectos parecen bien entendidos (Bircham y Hodgson, 1983; Grant y Barthram, 1984; Wade y Carvalho 2000, Garay *et al.*, 2001, Wen y Jiang, 2005, Rawnsley *et al.*, 2014, Gastal y Lemaire, 2015). La investigación temprana se enfocó sobre pasturas de raigrás perenne y en menor medida en especies como festuca alta y agropiro alargado (Mazzanti *et al.*, 1994, Bertín *et al.*, 1999; Agnusdei *et al.*, 2007). Asimismo, la investigación utilizó métodos de pastoreo continuo y mediciones en períodos cortos. Los resultados obtenidos permitieron el desarrollo de manejos del pastoreo con un criterio ecofisiológico que compatibiliza la producción de forraje de calidad con un uso eficiente del ambiente. Sin embargo, la magnitud relativa de los procesos de crecimiento, senescencia y crecimiento neto serían diferentes en pasturas manejadas bajo pastoreo rotativo con respecto a pasturas manejadas bajo pastoreo continuo. Esto se debe a que, a un mismo índice de área foliar (IAF), el ambiente lumínico en el cual se desarrollan las nuevas hojas y su consecuente potencial fotosintético es mayor con pastoreo rotativo (Parsons, 1983).

Un manejo racional de pasturas sobre la base gramíneas es un compromiso entre dos procesos contrapuestos: lograr una utilización eficiente del forraje y, a la vez, dejar un remanente de hoja pos pastoreo suficiente como para restaurar rápidamente el área foliar y el crecimiento de la pastura. Con un sistema de pastoreo rotativo, si el área foliar al finalizar el período de ocupación de la parcela es alta, la eficiencia de pastoreo (sinónimos: intensidad de pastoreo, porcentaje del forraje en oferta realmente cosechado por los animales) será deficiente pero el crecimiento bruto en el período de descanso, rápidamente alcanzará tasas elevadas. Por el contrario, una defoliación severa mejorará la eficiencia de pastoreo, pero ralentizará el crecimiento bruto inicial en el período de descanso. Los conceptos anteriores se sostienen bajo condiciones ambientales constantes (Parsons,

1983). Sin embargo, bajo condiciones de campo, las variaciones de temperatura, de intensidad de radiación y de fotoperiodo que ocurren con el transcurso de la estación, asociados al cambio fenológico de la pastura, introducen modificaciones en las relaciones de crecimiento bruto, senescencia y crecimiento neto entre el otoño y la primavera (Bertin *et al.*, 1999).

A partir de marzo, en el hemisferio sur, con el acortamiento de los días, la disminución de la temperatura media y los niveles de radiación, la pastura adopta un porte postrado y las hojas sucesivas que reemplazan a las senescentes, son de menor tamaño, al desarrollarse en un pobre ambiente lumínico, de menor potencial fotosintético. Consecuentemente, la pastura pierde peso y, según el manejo de la frecuencia e intensidad del pastoreo, las tasas de senescencia suelen ser elevadas y las de crecimiento neto bajas. A partir de septiembre, con el alargamiento de los días, el aumento de la temperatura media y del nivel de radiación y el pasaje al estado reproductivo, las pasturas adquieren un porte erecto, las hojas sucesivas son de mayor tamaño y con mayor potencial fotosintético. Por lo anterior, las tasas de crecimiento se incrementan progresivamente, y el período de aumento de la acumulación neta de forraje se extiende (Parsons, 1983).

La estructura de una pastura es la distribución, disposición e interrelaciones entre sus diversos componentes. Incluye la geometría del dosel, la composición de especies y la densidad, tamaño y edad de las plantas, macollos, estolones, hojas y otras partes de plantas (Thomas, 1980). En cambio, el estado de la pastura se refiere a variables específicas de las pasturas, ya sea en estado estable o que siguen un patrón específico de variación (ej, altura de la pastura, masa de forraje, Índice de Área Foliar) que permiten diseñar estrategias de manejo (Hodgson, 1985). La defoliación de las pasturas basada en tales variables presenta como atributo positivo la objetividad y la facilidad de aplicación práctica del manejo del pastoreo.

En el norte de la provincia de Buenos Aires no hay información del efecto de la altura de la defoliación sobre el crecimiento, la eficiencia de pastoreo y la estructura de pasturas de festuca alta bajo pastoreo rotativo en períodos de altas tasas de crecimiento. El conocimiento de tales relaciones ayudará a mejorar las recomendaciones de manejo de pasturas sobre la base de festuca alta para optimizar el crecimiento y su utilización con un manejo sustentable de las mismas.

Hipótesis

En pasturas con predominio de festuca alta el crecimiento neto, la eficiencia de pastoreo del forraje en oferta y la estructura de la pastura son afectadas por la altura de pastoreo y por la época del año.

Objetivo general

Evaluar en pasturas con predominio de festuca alta, el efecto de tres alturas de pastoreo sobre la eficiencia de pastoreo del forraje en oferta, el crecimiento neto, variables de estado y estructurales en otoño y en primavera.

Objetivos específicos

- Estimar la eficiencia de pastoreo del forraje en oferta, en otoño y en primavera, con tres alturas de pastoreo.
- Determinar la relación entre la tasa de acumulación neta de forraje y las variables de estado de la pastura.
- Determinar la relación entre la estructura de la pastura y la oferta de forraje con tres alturas de pastoreo.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Pergamino (EEA) del Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria INTA, entre marzo del 2020 y diciembre del 2021, sobre una pastura de festuca alta y leguminosas sembrada el 7 de junio de 2017 sobre un suelo Argiudol típico clase Ilwe. La pastura se sembró en siembra directa y el antecesor fue un cultivo de soja.

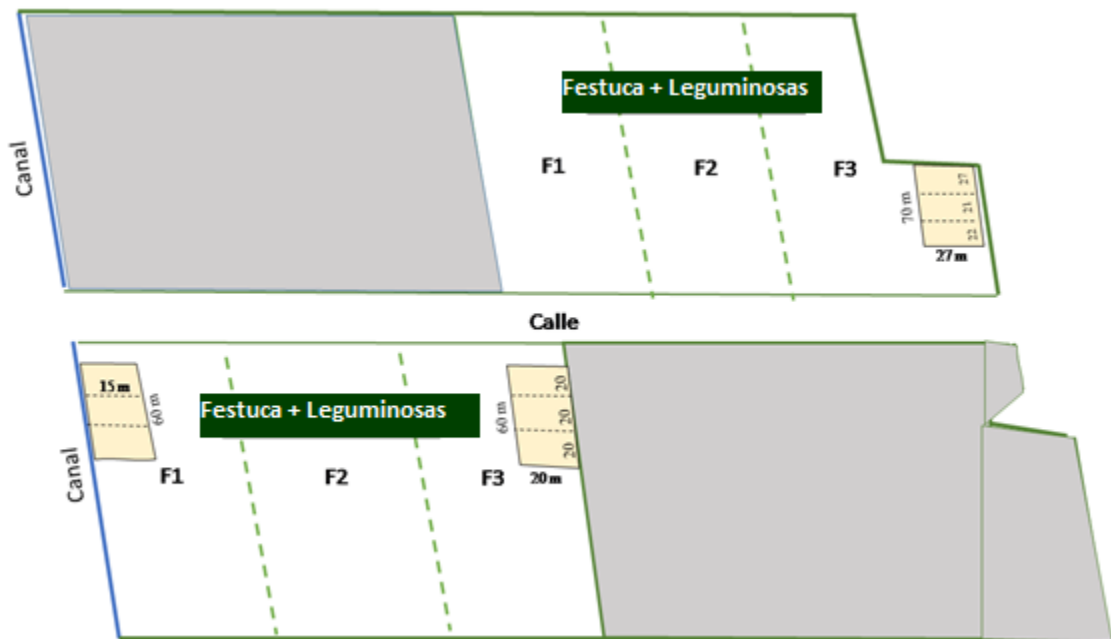
La pastura fue una mezcla de festuca alta y leguminosas. Los cultivares de festuca fueron Malma (70 %) y Arizona (30 %) a una densidad de 13 kg semilla ha⁻¹. Las leguminosas fueron trébol blanco cv Aquiles, trébol rojo cv Diábolo y *Lotus corniculatus* cv Nilo sembrados a 1,5; 7,7 y 7,7 kg /ha respectivamente.

Los tratamientos fueron tres alturas objetivo de remanente post-pastoreo:

- i) Bajo (B): 4 cm,
- ii) Medio (M): 8 cm,
- iii) Alto (A): 12 cm.

Las unidades experimentales (UE) fueron parcelas de 40 x 20 m (800 m²), las cuales fueron pastoreadas en forma individual (Figura 1).

Figura 1. Plano del sitio experimental con la ubicación de los tratamientos y repeticiones (parcelas) dentro de una pastura de festuca alta y leguminosas sembrada en junio de 2017.



Parcelas del experimento

Manejo del pastoreo

Se simuló un sistema de pastoreo rotativo, donde los animales ingresaron a cada parcela con una frecuencia de ~500 °C día en otoño y en primavera tardía y, con 350°C día durante la primavera temprana. La temperatura base se fijó de 4,0°C para calcular la suma térmica.

Los períodos de medición, escogidos *a priori*, fueron “otoño” (periodo comprendido entre el 15/3 y el 15/6) cuando la temperatura media desciende de 18,6 a 11,8°C y el fotoperiodo de 12 h 18’ a 9 h 50’ y “primavera” (periodo comprendido entre el 15/8 y el 15/12) cuando la temperatura media aumenta de 12,3 a 18,0 °C y el fotoperiodo de 10 h 50’ a 13 h 50’.

Se utilizaron novillos mestizos de razas británicas que ingresaron cada vez que se alcanzó la suma térmica objetivo para cada período. Previo a la entrada de los animales a las unidades experimentales se midió la altura de 20 láminas extendidas al azar y se ajustó la carga animal para que la altura objetivo de cada tratamiento se lograra en un período no mayor a 3 días. Durante el pastoreo se monitoreó periódicamente la altura de 20 láminas extendidas al azar. Una vez alcanzada la altura objetivo correspondiente a cada unidad experimental se retiraron los animales y se clausuró la parcela hasta el próximo pastoreo.

Mediciones

Elementos utilizados



- Regla de 20 centímetros.
- Varilla de 0,5 m de longitud
- Varilla marcada a la altura de pastoreo.
- Tijera
- Cuchillas.
- Balanza marca Veltrox M 3002 SP

Al inicio y luego de cada pastoreo se midieron:

- Altura con regla: 20 lecturas por UE de altura de láminas individuales extendidas.
- Fitomasa a ras del suelo: en cada unidad experimental se cortaron al azar 2 surcos de 0,5 m de longitud por cada UE (equivalente a 0,34m²). Las muestras se pesaron, se homogeneizaron y se separaron una alícuota de 40 g para determinar materia seca, material muerto (MM) y tejido verde (MV).



- Fitomasa hasta la altura de pastoreo de cada tratamiento: se cortaron 2 surcos de 0,5 m de longitud por UE (equivalente a 0,34m²) hasta la altura de pastoreo objetivo. Para ello se utilizó una varilla graduada con la altura de pastoreo objetivo que se colocó frente al operador y que sirvió de guía para el corte de las muestras. Estas se pesaron, se homogeneizaron y se separó una alícuota de 20 g para determinar materia seca, material muerto (MM) y tejido verde (MV).
- Peso y relación hoja/tallo de los macollos: se extrajeron al azar 30 macollos por UE, Los mismos fueron cortados a ras de suelo y se separó el MM. Posteriormente, cada macollo se disectó en pseudotallo o tallo verde (incluyó vaina) y lámina verde.
- Densidad de la población de macollos: en cada unidad experimental se posicionaron dos marcos fijos de 0,048 m² en los cuales, en junio y diciembre de cada año se contaron todos los macollos presentes con al menos una hoja expandida.



- Macollos reproductivos: en las mediciones de primavera luego de cada pastoreo se determinó el número de macollos con panoja que no fueron decapitados. El recuento se realizó en dos marcos de $0,25 \text{ m}^2$, los cuales fueron posicionados al azar en cada unidad experimental.
- IAF: en cada unidad experimental se tomaron muestras de hojas de festuca alta, Se colocaron en bolsas plásticas y se llevaron a laboratorio, donde se separó una alícuota de 10 g de material fresco de láminas. El área foliar de las mismas se midió con un medidor Licor LI 3100 (precisión $0,1 \text{ mm}^2$). Posteriormente, las muestras se secaron en estufa a 65°C durante 48 h para luego ser pesadas con una balanza de precisión. Del cociente entre cm^2 de hoja seca y el peso en g se calculó el área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{ lamina/g MS}$). Posteriormente, con el peso seco de festuca alta por unidad de superficie, la relación hoja/tallo y el área foliar específica se determinó el IAF de cada unidad experimental.

Durante todo el experimento:

- Temperatura media del aire y precipitaciones proporcionados por la base de datos de la estación meteorológica de la EEA INTA Pergamino ubicada a 2,8 km del sitio experimental.

VARIABLES DE RESPUESTA

Con los datos obtenidos se determinó: la altura de la pastura a la entrada y a la salida de los animales, la eficiencia de pastoreo del forraje en oferta a ras del suelo y a la altura objetivo¹, la tasa de crecimiento neto², la fitomasa aérea, el IAF, la densidad de la población de macollos, la masa y porcentaje de lámina de los macollos, % de macollos reproductivos decapitados en primavera.

¹Eficiencia de pastoreo del forraje en oferta (%) = $(MS \text{ en oferta prepastoreo} - MS \text{ remanente postpastoreo}) / MS \text{ en oferta prepastoreo} \times 100$ (Ferri *et al.*, 2015).

²Tasa de crecimiento neto ($kg \text{ MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) = $(MS \text{ en oferta en } t_1 - \text{oferta de forraje en } t_0) / (t_1 - t_0)$.

Donde, MS en oferta en t_1 es el forraje presente (a ras del suelo y a la altura de pastoreo objetivo) al inicio del pastoreo cuando se alcanza la suma térmica objetivo, t_0 es la MS remanente del pastoreo anterior, $t_1 - t_0$ es la diferencia en días entre el comienzo de un pastoreo y la finalización del pastoreo anterior.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño en bloques completos con arreglo sistemático de los tratamientos aplicados a las unidades experimentales, con tres repeticiones (Figura 1). Las variables de respuesta se analizaron para cada estación por separado mediante modelos mixtos para medidas repetidas en el tiempo. Para el análisis se utilizó el programa estadístico Infostat® (Di Rienzo *et al.*, 2015). Las variables fijas fueron los tratamientos de altura de pastoreo, la época del año y pastoreo dentro de cada época. Las variables aleatorias fueron las mediciones realizadas y las calculadas. Cuando se detectaron diferencias entre tratamientos, las medias se compararon con la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ($p < 0,05$).

Se establecieron correlaciones simples entre las variables de estado de la pastura y la tasa de acumulación neta de crecimiento. Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación parcial entre las variables de estado al inicio y final del rebrote para cada estación por separado.

Condiciones climáticas

En relación a las precipitaciones, se observaron promedios superiores a los históricos durante los primeros meses del otoño de 2020 (Tabla 1). Sin embargo, estas condiciones no perduraron durante el transcurso del año, ya que las precipitaciones primaverales se situaron por debajo del promedio histórico. Las escasas lluvias continuaron tanto en el otoño, como en la mayor parte de la primavera de 2021, lo que generó restricciones en el crecimiento (Tabla 1)

Tabla 1. Precipitaciones mensuales (mm) durante 2020 y 2021 y promedio histórico.

Sombreado verde: periodo de mediciones

Meses	2020	2021	1917-2021
Enero	89	144	112
Febrero	31	32	109
Marzo	206	107	123
Abril	124	77	99
Mayo	2	75	60
Junio	9	5	36
Julio	9	26	35
Agosto	4	26	42
Septiembre	62	26	55
Octubre	85	41	105
Noviembre	77	134	102
Diciembre	38	36	108

Datos del Observatorio Meteorológico del INTA, EEA Pergamino.

En base a los datos de temperatura del período experimental y de los registros históricos, se calculó la temperatura media de cada periodo (Tabla 2).

Se observó que los promedios de las temperaturas medias durante los periodos de otoño y primavera, tanto para el año 2020 como para el 2021, presentaron valores ligeramente superiores a la media histórica.

Tabla 2. Temperatura media (°C) promedio de los períodos experimentales y media histórica.

	Otoño (15/3 - 15/6)		Primavera (15/8 - 15/12)	
	2020	2021	2020	2021
Experimento	14,7	13,8	17,5	18,4
1910-2021	14,1	13,0	17,3	17,3

Resultados

Variables de estado

- Altura de pastoreo

La altura de pastoreo de entrada fue diferente entre tratamientos y periodos de medición ($p < 0,001$). Fue mayor con el tratamiento A (20,0 cm), intermedia con M (16,5 cm) y menor con B (13,2 cm). La altura de entrada en otoño 2020 superó a los restantes tratamientos (21,9 vs 14,8 cm, respectivamente).

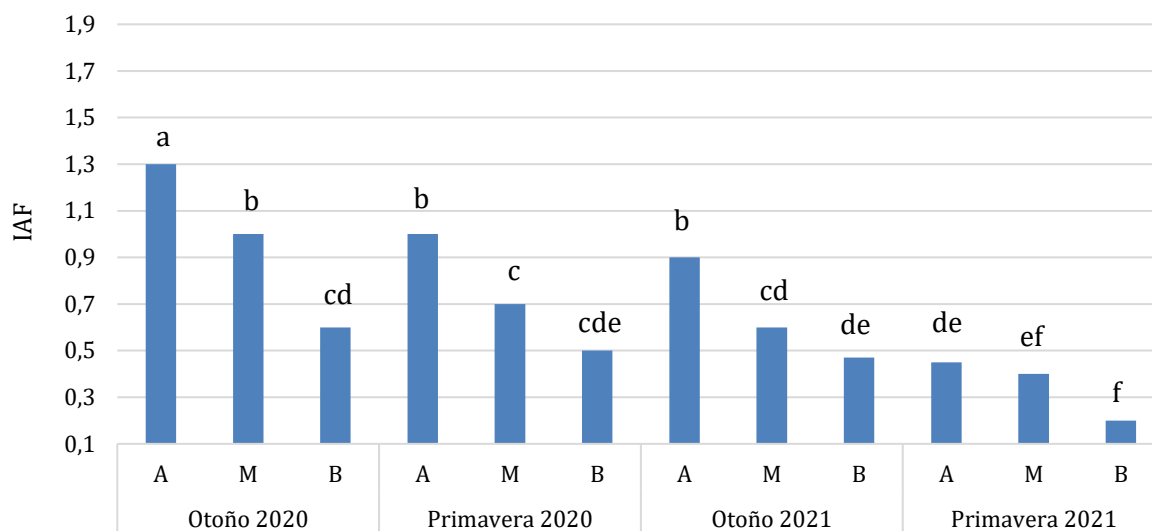
La altura de salida fue afectada por la interacción entre tratamiento y período de medición ($p < 0,05$). Los tratamientos A y el B tuvieron las mayores y menores alturas de salida con 11,1 y 5,1 cm respectivamente. Los valores del tratamiento M fueron intermedios en todos los períodos (promedio 7,9 cm), excepto en la primavera del 2020, cuando no se diferenció de B (6,9 cm).

- Índice de Área Foliar

El IAF del forraje en oferta fue diferente entre tratamientos y períodos de medición ($p < 0,01$). Fue mayor con A (2,0) con respecto a M y B (1,6). Por su parte, el IAF resultó mayor en el año 2020 (2,2 y 2,3 para otoño y primavera, respectivamente) con respecto al 2021 (1,5 y 1,1 para otoño y primavera, respectivamente).

El IAF del forraje remanente fue afectado por la interacción entre tratamiento y el período de medición ($p < 0,05$, Figura 2). Excepto en la primavera de 2020, el IAF fue mayor en otoño que en primavera. Por su parte, en el tratamiento A registró mayores valores de IAF, con respecto a M y B en cada una de las estaciones. En otoño de 2020, el IAF de M fue mayor que el de B.

Figura 2. IAF promedio del forraje remanente en festuca alta pastoreada con tres alturas de pastoreo en cuatro periodos de medición



Letras diferentes sobre las barras indican diferencias mínimas significativas para la interacción período por tratamiento Fisher $p < 0,05$.

Forraje en oferta y remanente

- Medido a ras del suelo

El forraje en oferta fue diferente entre tratamientos y entre periodos ($p < 0,001$). Fue mayor con A, intermedio con M y menor con B (2.012, 1.687 y 1.428 kg MS ha⁻¹, respectivamente). Por su parte, el forraje en oferta fue mayor en 2020 que en 2021 (2.363 vs 1.492 kg MS ha⁻¹).

El forraje remanente, medido a ras del suelo, fue diferente entre tratamientos y periodos ($p < 0,001$). Fue mayor con A, intermedio con M y menor con B (1.152, 895 y 616 kg MS ha⁻¹, respectivamente). Por su parte, El forraje remanente fue más elevado en 2020 con respecto a 2021 (1.133 vs 643 kg MS ha⁻¹).

Las variables de estado estuvieron significativa y altamente asociadas entre sí en otoño (Tabla 3a) y, excepto la altura del forraje remanente, en primavera (Tabla 3b).

Tabla 3. Correlaciones parciales entre las variables de estado, promedio de otoño (a) y de primavera (b). Significancia y coeficiente de correlación de Pearson.

a

	A O	A R	F O	F R	IAF O	IAF R
A O	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
A R	0,77	1	0,001	0,001	0,001	0,001
F O	0,90	0,78	1	0,001	0,01	0,001
F R	0,88	0,80	0,89	1	0,001	0,001
IAF O	0,90	0,77	0,99	0,91	1	0,001
IAF R	0,77	0,84	0,76	0,86	0,78	1

b

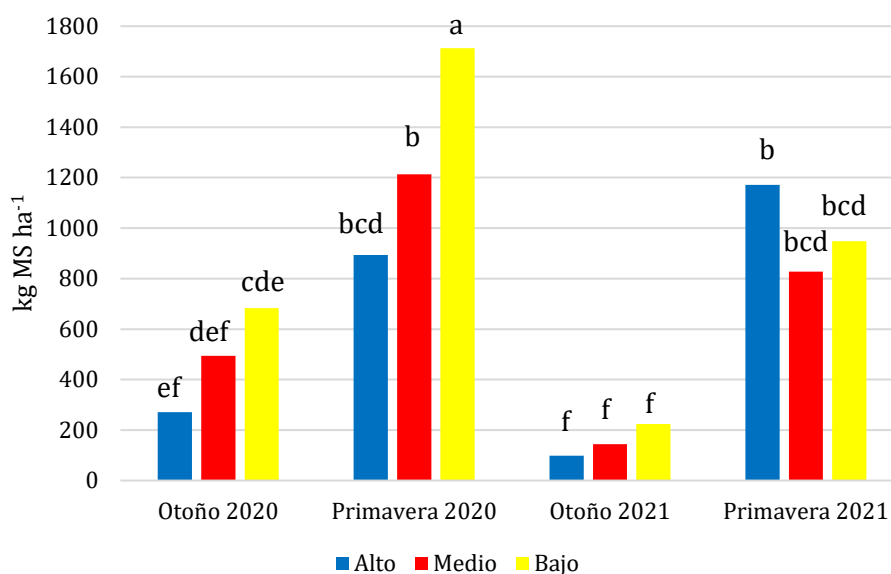
	A O	A R	F O	F R	IAF O	IAF R
A O	1	0,001	0,05	0,001	ns	0,001
A R	0,90	1	ns	ns	ns	0,05
F O	0,50	---	1	0,001	0,001	0,001
F R	0,70	---	0,86	1	0,001	0,001
IAF O	0,42	---	0,97	0,81	1	0,001
IAF R	0,73	0,51	0,82	0,96	0,75	1

Referencias: A, altura, F, forraje, O, en oferta, R, remanente

- o Medido a la altura de pastoreo

El forraje en oferta, fue afectado por la interacción tratamiento por período ($p < 0,05$, Figura 3). Los mayores valores se obtuvieron en primavera, siendo el tratamiento B específicamente, el valor más alto en 2020. En el otoño 2021, se determinaron los menores valores, sin diferencias entre tratamientos.

Figura 3. Oferta de forraje promedio medida a la altura de pastoreo con tres alturas de pastoreo en cuatro periodos de medición.



Letras diferentes sobre las barras indican diferencias mínimas significativas para la interacción fecha por tratamiento Fisher $p < 0,05$.

El forraje remanente, fue diferente entre tratamientos y periodos ($p < 0,001$). El mayor valor correspondió al B y el menor al A (200 vs 121 kg MS ha⁻¹). En la primavera de 2020 y en el otoño 2021, se determinaron el mayor y menor valor (298 y 52 kg MS ha⁻¹, respectivamente). En el otoño 2020 y la primavera 2021 lo valores fueron intermedios (149 kg MS ha⁻¹).

Estructura de la pastura: Macollos.

- Densidad de la población

La densidad de la población de macollos fue diferente entre tratamientos en primavera (Tabla 4). En 2020 la mayor y menor densidad correspondieron a los tratamientos B y A, y lo contrario ocurrió en 2021.

Tabla 4. Densidad de la población de macollos promedio de festuca alta con tres alturas de pastoreos en cuatro meses durante el período experimental (macollos m⁻²)

Tratamiento	2020		2021	
	junio	diciembre	junio	diciembre
A	1.458	1.073	1.830	816
M	1.775	1.371	1.889	632
B	2.229	1.948	2.014	559
$p <$	ns	0,05	ns	0,05
DMS Fisher	----	603	----	183

- Tamaño de macollos individuales

El peso de los macollos del forraje en oferta fue diferente entre alturas de pastoreo y periodos de medición ($p < 0,001$). Los macollos fueron más pesados con A, intermedios con M y menos pesados con B (0,11, 0,09 y 0,07 g MS macollo⁻¹, respectivamente). En el otoño y la primavera 2020 se observaron mayores valores con respecto a 2021 (0,13 y 0,09 vs 0,07 y 0,07 g MS macollo⁻¹, respectivamente)

Del mismo modo, en el forraje remanente el peso de los macollos fue diferente entre alturas de pastoreo y períodos de medición ($p < 0,001$). Los valores correspondientes para A, M y B fueron 0,10, 0,07 y 0,04 g MS macollo⁻¹, respectivamente. En otoño 2020, se observaron los mayores valores, mientras que, en primavera de 2021, los menores (0,10 y 0,04 g MS macollo⁻¹, respectivamente).

- Porcentaje de lámina de macollos individuales

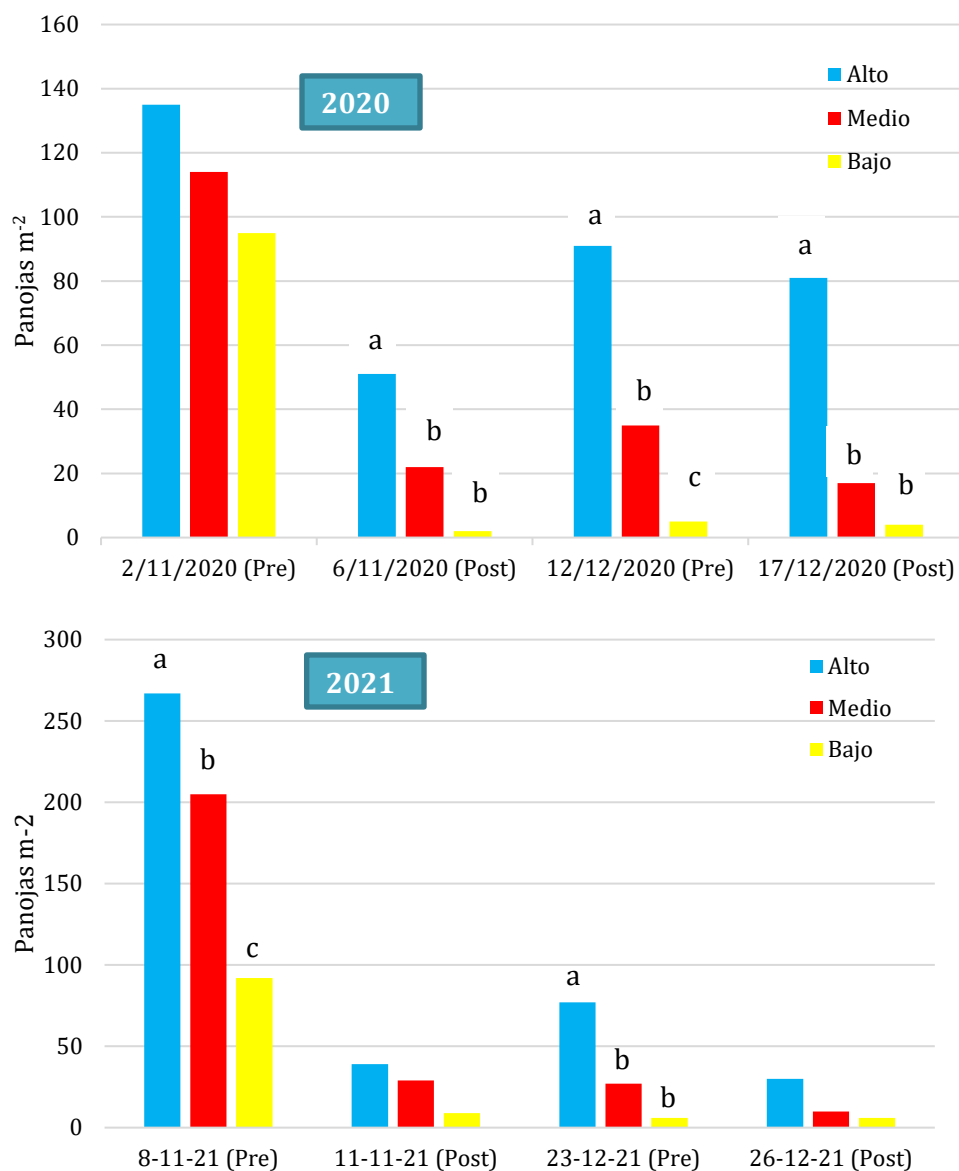
El porcentaje de lámina de los macollos del forraje en oferta fue similar entre alturas de pastoreo (60,9 %) y diferente entre períodos de medición ($p < 0,001$), con mayor porcentaje en otoño (64,8 %) y menor en primavera (57,1 %).

En el caso del forraje remanente el porcentaje de lámina fue similar alturas de pastoreo (53,7 %) y diferente entre períodos de medición ($p < 0,001$). El menor porcentaje de lámina ocurrió en el otoño 2020 (49,7 %) y el mayor en la primavera de 2021 (59,2 %). Los restantes períodos mostraron valores intermedios 52,9 %).

- Densidad de panojas

Excepto en noviembre de 2020, la densidad de panojas previo al pastoreo fue menor con la altura de pastoreo B con respecto a A (Figura 4). Luego del pastoreo, la densidad de panojas, disminuyó con un patrón similar entre tratamientos.

Figura 4. Densidad de panojas de festuca alta promedio, antes (Pre) y luego de un pastoreo (Post), con tres alturas de pastoreo (Alto, Medio y Bajo), en dos años (2020 y 2021) y cuatro fechas de medición.



Letras diferentes sobre las barras indican diferencias mínimas significativas Fisher $p < 0,05$ entre tratamientos para cada fecha por separado.

Tasa de acumulación neta de forraje

La tasa de acumulación neta de forraje fue mayor ($p < 0,001$) en primavera de 2020 ($47,3 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) con respecto al resto de los períodos de medición ($15,6 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

Eficiencia de pastoreo

La eficiencia de pastoreo, medida a ras del suelo, fue diferente entre alturas de pastoreo y entre períodos de medición ($p < 0,001$). Fue mayor con el tratamiento B (55,3%) con respecto

a los restantes (45,6 %). En la primavera 2021, se observó el mayor valor (62,8%), mientras que el menor fue en el otoño 2020 (35,9%). En los otros períodos, el porcentaje fue intermedio (48,3%)

La eficiencia de pastoreo, medida a la altura de pastoreo, fue similar entre tratamientos (70,6 %) y diferente entre periodos de medición ($p < 0,001$). Fue mayor en la primavera 2021 (77,8%) con respecto al otoño (65,9%).

Discusión

Variables de estado

Los tratamientos de intensidad de pastoreo se manifestaron en diferencias en la magnitud de las variables de estado, al final del rebrote. Con respecto al crecimiento durante el rebrote postpastoreo, se encontró una asociación alta entre las variables de estado al inicio y al final del período de rebrote, especialmente en otoño. Tal como lo indica la bibliografía (Agnusdei *et al.*, 2007), esta correlación se explica porque el crecimiento de las gramíneas luego de una defoliación depende, entre otros, de la cantidad de tejido fotosintético luego del pastoreo. Consecuentemente, en la medida que quede más área foliar, mayor será el crecimiento bruto de la pastura. Desde el punto de vista práctico, los resultados muestran que la cantidad de forraje remanente, es un indicador confiable para predecir las magnitudes de las otras variables de estado. En otros países se suele recomendar la altura como indicador del manejo de pasturas de gramíneas perennes templadas (Barthram, 1985).

Sin embargo, en primavera, con el pasaje al estado reproductivo, este no resultaría en un buen estimador de otras variables de estado en pasturas de festuca alta en el norte de la provincia de Buenos Aires.

En el rango de las alturas de pastoreo evaluadas no hubo diferencias en la acumulación neta de forraje, la cual resultó similar para todos los tratamientos. Aun si se considera que todos los tratamientos fueron pastoreados a la misma vida media foliar, llegaron a la suma térmica objetivo, con diferencias en el forraje en oferta y la cantidad de material muerto. Por lo tanto, la falta de diferencias entre tratamientos en acumulación neta de forraje sería consecuencia de la homeostasis que existe entre el crecimiento bruto y la senescencia que,

en un rango bastante amplio de valores de las variables de estado, no haya diferencias en crecimiento neto (Parsons, 1983).

En relación a las diferencias estacionales en las variables de estado y la acumulación neta, se conoce que los valores y las tasas de crecimiento son mayores en primavera que en otoño (Parsons, 1983). Sin embargo, en la primavera 2021, la magnitud de las variables de estado y de las tasas de crecimiento resultaron menores a las comúnmente señaladas en la bibliografía (Bertín *et al.*, 1988). Esto probablemente se debió a las bajas precipitaciones ocurridas durante septiembre y octubre de 2021 y a las mayores temperaturas con respecto al promedio histórico. Así mismo, en diciembre de ambos años, las precipitaciones fueron muy inferiores a la media histórica y, por lo tanto, las tasas de crecimiento en ese mes.

Variables estructurales

Las variables estructurales (densidad, peso, y relación hoja/tallo de los macollos) reflejaron la plasticidad fenotípica de la especie (Scheneiter y Assuero, 2010). Esto es, con menor altura de pastoreo, aumentó la densidad y disminuyó el tamaño de los macollos. En la primavera del 2021 las bajas precipitaciones y elevadas temperaturas, determinaron una menor densidad de macollos en enero. Esto coincide con las recomendaciones de no pastorear una festuca de tipo continental con excesiva intensidad, debido a la pérdida de macollos (Scheneiter y Améndola, 2012).

Interesantemente, no hubo diferencias en la relación hoja/tallo de los macollos lo cual podría atribuirse a que a mayor tamaño de los macollos también se incrementa la proporción de tejido estructural (pseudo-tallo o tallo). Esto ha sido comprobado en especies C4 (Agnusdei *et al.*, 2012a).

Tal como lo indica la bibliografía (Raeside *et al.*, 2012, Agnusdei, 2013) se observó que el pastoreo controló la expresión del estado reproductivo al reducirse el número de panojas en la medida que disminuyó la altura de pastoreo. Si bien, en este experimento no se evaluó la calidad del forraje se conoce que en la medida que aumenta la cantidad de tallos reproductivos, a partir del mes de noviembre disminuye la calidad de la pastura (aumento de FDN y disminución de la digestibilidad de la MS).

Eficiencia de pastoreo

En este experimento se encontraron diferencias en eficiencia de pastoreo entre tratamientos. Si bien en pasturas de festuca alta, no se hallaron valores locales de esta variable, empírica y extensivamente se hace referencia a una eficiencia general del 50 % para mezclas sobre la base de alfalfa (Quinodoz, 2012). Si se tiene en cuenta la similitud entre tratamientos en la acumulación neta de forraje y la mayor eficiencia con el pastoreo bajo, se podría asumir que con un pastoreo a 5 cm de altura existe una mejor utilización del crecimiento bruto de la pastura. Esto es, si bien el pastoreo 11 cm habría implicado mayor crecimiento bruto y una estructura más erecta de la pastura con respecto a un pastoreo a 5 cm, no habría sido suficiente para mejorar la eficiencia de pastoreo del crecimiento bruto por las mayores tasas por senescencia (Bertin *et al.*, 1999).

De acuerdo a los resultados de este trabajo desde el punto de vista práctico, cuando se monitorea el forraje en oferta y se le asigna una eficiencia de pastoreo es importante tener en cuenta la altura a la cual se realiza la estimación de ambas variables ya que, si la oferta de forraje se estima por sobre el suelo, la eficiencia de pastoreo del forraje en oferta podría ser entre 15 y 25 % más elevada que si se estima a ras del suelo.

En ese punto conviene aclarar que la eficiencia de pastoreo *per se*, no es una meta a alcanzar, sino más bien un indicador de cuanto forraje se cosecha, en función del objetivo productivo de sistema ganadero. Esto es así desde que puede haber una relación negativa entre la eficiencia de pastoreo y la producción individual (Frasinelli, 1994) y, por lo tanto, la carga animal, la ganancia individual o un compromiso entre ambas serán las variables que determinan la eficiencia de pastoreo.

Implicancias prácticas.

Los resultados de este trabajo indicarían que, en el norte de la provincia de Buenos Aires un remanente postpastoreo de 900 a 1150 kg de MS ha⁻¹ de forraje verde (medido a ras del suelo) permitiría obtener, a los ~500°C día, una oferta de forraje del orden de los 1700-2000 kg MS ha⁻¹, utilizarla con una eficiencia de pastoreo del 45 % y mantener una estructura de la pastura con alrededor de 1800 macollos m⁻² al inicio del macollaje. Dada la relación que existe entre la cantidad de tejido remanente luego del pastoreo con las posteriores tasas de crecimiento bruto y senescencia, pastoreos con ligeras variaciones (en más o en menos de los señalados anteriormente), podrían ofrecer similares valores de acumulación neta de forraje y eficiencia de pastoreo. En Balcarce, Berone *et al.* (2022) recomiendan para el SE

de la provincia de Buenos Aires, remanentes de 1000-1500 kg MS ha⁻¹ para lograr una oferta de forraje de 2000 a 2500 kg MS ha⁻¹ en el próximo pastoreo. Si se tiene en cuenta que en este trabajo se trata de forraje verde y en el caso mencionado de forraje total, los valores propuestos en ambos casos serían semejantes.

Sin bien en este trabajo, las alturas de pastoreo efectivamente logradas (11, 8 y 5 cm para A, M y B, respectivamente) resultaron en similares acumulaciones netas de forraje, pastoreos por debajo o por encima de este rango merecen ciertas consideraciones. En el norte de la provincia de Buenos Aires, en diciembre y enero, la temperatura a nivel de suelo se incrementa significativamente cuando el pastoreo deja un remanente de 6 cm en comparación con 12 cm (Scheneiter *et al.*, 2001). De allí que un pastoreo muy severo puede traer como consecuencia muerte de macollos. Esto se evidenció en la primavera de 2021, que fue seca y extremadamente calurosa, con una menor densidad de la población de macollos con pastoreo de 5 cm en comparación con 8 y 11 cm.

Por otra parte, los pastoreos de ≥ 11 cm de altura implican una mayor cantidad de tejido estructural, una mayor densidad de tallos panojados en la pastura con respecto a pastoreos más bajos con probables efectos negativos sobre la calidad del forraje en oferta y, consecuentemente, el consumo por parte del animal.

Conclusiones

En el rango de alturas de pastoreo evaluadas, la tasa de acumulación neta de forraje no es afectada por la altura de pastoreo y si por la época del año y las condiciones climáticas.

La eficiencia de pastoreo es afectada por la altura de pastoreo y la estación del año.

Las variables estructurales de la pastura son afectadas en forma parcial por la altura de pastoreo. Esta afecta la densidad y el tamaño, pero no el porcentaje de lámina de los macollos.

Las variables de estado evidencian una significativa y alta correlación al inicio y al final del período de rebrote. La cantidad de forraje remanente es un indicador confiable para predecir las magnitudes de las otras variables de estado al final del periodo de rebrote.

Bibliografía

- Agnusdei, M.G., Assuero, S.G., Fernández Grecco, R.C., Cordero, J.J. y Burghi, V.H. 2007. Influence of sward condition on leaf tissue turnover in tall fescue and tall wheatgrass swards under continuous grazing. *Grass and Forage Science*, 62, 55–65.
- Agnusdei, M. & Di Marco, O. & Nenning, F. & Aello, M. 2012a. Leaf blade nutritional quality of rhodes grass (*Chloris gayana*) as affected by leaf age and length. *Crop and Pasture Science*. 62. 1098-1105. 10.1071/CP11164.
- Agnusdei, M.G., Marino, M.A., y Errecart, P. 2012b. Buenas prácticas de Manejo de Pasturas, En “Pasturas 2012: hacia una ganadería competitiva y sustentable”, Mar del Plata, 23 de marzo. Pp 39-55.
- Agnusdei, M.G. 2013. Rol de la ecofisiología en el diseño de manejos especializados de pasturas, ISSN 1022-1301. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 21 (1) 63-78.
- Barthram, G.T. y Grant, Sheila A. 1984. Defoliation of ryegrass-dominated swards by sheep. *Grass and Forage Science* 39: 211-219, doi.org/10.1111/j.1365-2494.1984.tb01685.x
- Barthram, G.T. 1985. Experimental Techniques: The HFRO Sward Stick. In: The Hill Farming Research Organization. Biennial Report, HFRO, Midlothian, 29-30.
- Berone G., Cicore P., Errecart P., Insua J., Jaimes F., Maglietti C., Marino A. y Oriente S. 2022. Guía para el manejo de pasturas en función del stock de pasto y la tasa de crecimiento. 1ª Ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ediciones INTA. Libro digital, PDF 20 pp. Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-987-679-319-3
- Bertín, O. y Rosso, B. 1988. Distribución estacional del rendimiento de forraje de gramíneas perennes templadas. I Festuca alta. En *Forrajeras y Producción Bovina, Resultados Comprobados N° 65*, INTA, EEA Pergamino, 3 pp.
- Bertín, O., Carrete, J., Josifovich, J. y Scheneiter, O. 1998. Actividad invernada. Producción de pasturas. En “Guía práctica de ganadería vacuna: Bovinos para carne, región pampeana. INTA, Buenos Aires. Pp 189-191.

- Bertín, O.D. y Scheneiter, J.O. 2005. Producción de forraje y carne con pasturas mezclas de alfalfa y festuca alta, Jornada a Campo: Avances en producción y manejo de pasturas. E.E.A INTA Pergamino. 22/09/2005, www.produccion-animal.com.ar.
- Bertín, O.D., Carrete, J.R., Scheneiter, J.O y Basail, J.O. 1999. Producción de forraje y de carne, y su resultado económico pasturas de festuca alta y leguminosas. INTA Pergamino, Revista de Tecnología Agropecuaria IV (10):7-12.
- Bircham, J.S. and Hodgson, J. 1983. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management, Grass and Forage Science 38:323-331, doi,org/10,1111/j,1365-2494,1983,tb01656,x
- INDEC. 2020. Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados preliminares. Agricultura. Instituto Nacional de Estadística y Censos. https://www.indec.gov.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_preliminares_agricultura.pdf
- Colabelli, M., Agnusdei, M., Mazzanti, A. y Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. Boletín Técnico N° 148. INTA, CERBAS, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, 17 p.
- Di Rienzo, J.A. Casanoves, F. Balzarín, M.G. González L. Tablada M. y Robledo, C.W. 2015. InfoStatversion 2015, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, URL <http://www.infostat.com.ar>
- Ferri, C.M., Sáenz, A. M. y Jouve, V.V. 2015. Términos de uso frecuente en producción y utilización de pasturas. *SEMIÁRIDA. Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam Vol 25 (1): 41-61.*
- Frasinelli, C. A. 1994. Influencia de algunas características de pasturas de alfalfa (*Medicago sativa L.*) sobre el comportamiento ingestivo de novillos en pastoreo. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Argentina 125 pp
- Garay, A. Matthew, C. and Hodgson, J. 2001 The influence of defoliation height on dry-matter partitioning and CO₂ exchange of perennial ryegrass miniature swards, Grass and Forage Science, 55: 372 - 376, DOI 10,1046/j,1365-2494,2000,00234,x

- Gastal, F y Lemaire, G. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. *Agriculture*, 5 (4): 1146-1171
- Hodgson, J. 1985. The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. In: *Proceedings of the XV International Grassland Congress*. Kyoto, Japanese Society of Grassland Science, 1985, pp 63-66.
- Kent, F. 2019. Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa, La Pampa, Ediciones INTA, pp 23-26
- Mazzanti, A. Lemaire, G. y Gastal, F. 1994. The effect of nitrogen fertilization upon the herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep, 1. *Herbage growth dynamics*, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1994.tb01983.x>
- Parsons, J. 1983. The effect of season and management on the growth of grass. *The Grass Crop: The Physiological basis of production*. Jones, M.B. y Lazenby, A. (Eds,) Pp129-177.
- Quinodoz, E. 2012. Utilización de pasturas: desmitificando la eficiencia de cosecha. *Producir XXI*, 20 (249), 34-41.
- Rawnsley, R., Langworthy, A., Pembleton, K., Turner, L., Corkrey, R, y Donaghy, D. 2014. Quantifying the interactions between grazing interval, grazing intensity, and nitrogen on the yield and growth rate of dryland and irrigated perennial ryegrass, *Crop and Pasture Science*, 65: 735, DOI 10.1071/CP13453.
- Raeside, M.C., Friend, M.A., Behrendt, R., Lawson, A.R. y Clark, S.G. 2012. A review of summer-active tall fescue use and management in Australia's high-rainfall zone, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 55:4, 393-411, DOI: [10.1080/00288233.2012.708663](https://doi.org/10.1080/00288233.2012.708663)
- Sacoccia, M.J. y Scheneiter, J. O. 2017. El macollaje en festuca alta y agropiro alargado según la defoliación durante el estado reproductivo. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_pergamino_el_macollaje_de_festuca_alta_y_agropiro_alargado_segun_la_defoliacion_durante_el_estado_reproductivo.pdf
- Scheneiter, O., D'Andrea, F., Marcomini, C. y E. Pagano. 2001. Acumulación de forraje en pasturas base gramíneas con dos alturas de pastoreo. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. *Revista de Tecnología Agropecuaria* 6:44-48.

- Scheneiter, J. y Assuero, S. 2010. Tiller population density and productivity in tall fescue and prairie grass swards. *Ciencia e Investigación Agraria*. 37. 35-44.
10.4067/S0718-16202010000200004.
- Scheneiter, J. y Améndola, C. 2012. Tiller demography in tall fescue (*Festuca arundinacea*) swards as influenced by nitrogen fertilization, sowing method and grazing management. *Grass & Forage Science*. 67. 10.1111/j.1365-2494.2012.00861.x.
- Thomas H. 1980. Terminology and definitions in studies of grassland plants. *Grass Forage Science*, 35:13-23.
- Wade, M. y Carvalho, P.C. 2000, Defoliation Patterns and Herbage Intake on Pastures, CAB International 2000, *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology* (Eds, G, Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger and P.C. de F, Carvalho), Pp 233-248.
- Wen, Y. y Jiang, H.F. 2005. Cutting effects on growth characteristics, yield composition, and population relationships of perennial ryegrass and white clover in mixed pasture, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 48:3, 349-358, DOI: 10.1080/00288233,2005,9513666