

## EL MÉTODO DE CORTE DE BIOMASA GENERA MAYORES DIFERENCIAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE PASTIZALES QUE EL TIPO DE PASTIZAL

*Harvest biomass method generates higher differences in grasslands productivity estimation than the type of grassland*

**Pezzani, F.<sup>1\*</sup>, Lezama, F.<sup>1</sup>, Gallego, F.<sup>2</sup>, López-Mársico, L.<sup>2</sup>,  
Leoni, E.<sup>2</sup>, Costa, B.<sup>2</sup>, Parodi, G.<sup>1</sup> y Mello, A.L.<sup>2</sup>**

Facultad de Agronomía, Ecología. Universidad de la República, Uruguay  
Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, UdelaR.

### RESUMEN

En los pastizales la estimación de la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) resulta clave ya que, entre otros aspectos, determina la cantidad de forraje disponible para el ganado. Los métodos tradicionales para estimar la PPNA en pastizales implican cortes de biomasa. La frecuencia y el momento de corte son generalmente reportados, no así la altura a la cual se realiza la cosecha de biomasa. La biomasa puede cortarse al ras del suelo o dejando unos pocos centímetros sobre el mismo. Esto determina importantes variaciones en la cantidad y calidad de biomasa remanente lo cual afectará el rebrote de las plantas. En este trabajo comparamos el efecto sobre la PPNA de cortar la biomasa a ras del suelo (método ras) y dejando un remanente de 2 cm (método rebrote) en las dos unidades de pastizal de Sierras del Este, una región geomorfológica de Uruguay con 90% de pastizales y que abarca más del 14% del país. Se cortó estacionalmente durante un año en cuatro sitios, dos en la unidad de pastizales abiertos y dos en la de pastizales densos. Nuestros resultados indicaron que el efecto del método de corte fue más importante que las diferencias en productividad debidas al tipo de pastizal. La PPNA anual de los pastizales abiertos fue 33% mayor cortando al ras del suelo que cortando a 2cm de altura, mientras que en los pastizales densos dicha diferencia fue del 40% a favor del corte al ras. Los pastizales densos fueron más productivos que los abiertos: 28% más cortando al ras y 20% más dejando un remanente de 2cm. El efecto del método de corte dependió de la estación del año, siendo mayor en verano. Resaltamos la necesidad de estandarizar el método de corte de biomasa para realizar comparaciones válidas de la productividad de pastizales de diferentes sitios. Cortar la biomasa dejando un remanente de 2 cm resulta más barato, más fácil y más conveniente ya que se evita la contaminación con partículas de suelo.

**Palabras clave.** productividad primaria neta aérea, pastizales, Sierras del Este, Uruguay.

### SUMMARY

The estimation of Aboveground Net Primary Production (ANPP) in grasslands is a key factor because it determines the amount of forage that is available to livestock, apart from other aspects. Traditional methods to estimate ANPP include the cut or harvest of plant biomass. The frequency and the moment of harvest are generally reported, although the height from which the cut was made from the soil surface is not. This height, when it is reported, shows a great variation because it can be done at ground level or a few centimeters above it. This variation modifies the amount and the quality of biomass that remains in the field and so the ability of forage species to generate new tissues. In this study, we compared the effect that cutting biomass just above the soil surface or leaving 2 cm of stand biomass produces on ANPP, in the two grasslands units of Sierras del Este region, in Uruguay. This is a geomorphological region that represents more than 14% of the Uruguayan territory and it is almost 90% covered by grasslands. In this region, two grassland units have been identified and mapped according to their floristic composition and landscape characteristics: open and dense grasslands. Biomass harvest was done seasonally during a year in four sites: two in the open grasslands unit and two in the dense one. Our results showed that differences in ANPP due to harvest biomass method were higher than the effects due to the type of grasslands. Annual ANPP in open grasslands of Sierras del Este was 33% higher when we cut the biomass at ground level than when we left 2 cm of stand biomass. In the case of the dense grasslands this difference was 40% higher when cutting biomass close to the soil. Dense grasslands were also more

Recibido: septiembre de 2016

Aceptado: abril de 2017

<sup>1</sup> Ecología. Departamento de Sistemas Ambientales, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

\*E-mail: fabiana@fagro.edu.uy

<sup>2</sup> Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, UdelaR.

productive than open ones: 28% and 20% cutting at ground level and leaving 2 cm, respectively. We also found a seasonal effect on the harvest method: the greatest differences were in summer. We recommended standardized biomass harvest method to estimate ANPP in grasslands to allow valid comparisons of ANPP values from different sites. Cutting biomass at 2 cm shows to be cheaper, easier and more convenient because it avoids soil contamination.

**Key words.** aboveground net primary productivity, grasslands, Sierras del Este, Uruguay.

## Introducción

La Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) representa la tasa de producción de nueva biomasa vegetal aérea por unidad de área y de tiempo (McNaughton et al, 1989; Oesterheld et al, 1992). En el caso particular de ecosistemas pastoriles, y desde una perspectiva aplicada, resulta de vital interés su conocimiento ya que determina la generación de forraje disponible para el ganado y por ende representa el principal control de la carga ganadera (Oesterheld et al, 1992, 1999). En los pastizales resulta difícil estimar la PPNA debido a su elevada variación tanto en el espacio como en el tiempo (Briggs y Knapp, 1995; Knapp y Smith, 2001; Knapp et al, 2007). En relación a la variación espacial, tanto a escala de paisaje como local, la PPNA ha sido relacionada con gradientes topográficos, edáficos y también con regímenes de perturbación, particularmente el pastoreo (Oesterheld et al, 1999; Altesor et al, 2005; Baeza et al, 2010; Lezama et al, 2014). A escala temporal, la variación interanual de la PPNA depende en gran medida de la dinámica de las precipitaciones, las cuales en este tipo de ecosistemas pueden ser muy variables (Knapp y Smith, 2001; Oesterheld et al, 2001). En pastizales de clima templado con marcada estacionalidad y diferencias fenológicas de las especies, las variaciones de productividad intra-anales son muy importantes (Sala y Austin, 2000).

En función de estas características, los métodos que se han propuesto para estimar la PPNA de estos ecosistemas implican el corte, secado y pesado de biomasa. Existen distintos métodos para estimar la PPNA que varían en función de la frecuencia y del momento del año en que se sugiere realizar los cortes (Kucera et al, 1967; Singh et al, 1975; Long et al, 1989; ver Scurlock et al, 2002 por una revisión de estos métodos). Muchos métodos subestiman la PPNA ya que parte de la productividad que ocurre en el período reemplaza el tejido que muere en ese mismo período. Para corregir esto, Sala et al (1981) propusieron un método basado en registros temporales no solo de la biomasa verde sino también de la biomasa muerta en pie así como del mantillo. Otro de los métodos más utilizado para evaluar la PPNA es el que propusieron Anslow y Green (1967) para pasturas compuestas por especies con diferente época de maduración, teniendo en cuenta que los estadios fenológicos de las plantas interactúan con la fecha de corte.

Para el caso de pastizales de zonas templadas el método más utilizado consiste en cortes estacionales teniendo en cuenta la gran variación intra-anual que existe en la producción de la biomasa vegetal en estos ecosistemas (Singh et al, 1975; McNaughton et al, 1996; Sala y Austin, 2000). En pastizales que están bajo pastoreo, para lograr una estimación de la productividad total del tapiz vegetal, se recomienda el uso de jaulas móviles que permitan la

exclusión de los herbívoros (Klingman et al, 1943; Gardner, 1967; Frame, 1993).

Un aspecto metodológico que no siempre se encuentra explicitado ni ha sido evaluado en los trabajos que presentan estimaciones de la PPNA de pastizales, es el método de corte de la biomasa, particularmente la altura a la cual se realiza la cosecha de la misma. Cuando se emplean tijeras básicamente se puede cortar toda la biomasa en pie (verde y senescente) al ras del suelo, o cortar a partir de cierta altura sobre el nivel del suelo (2 o 3 cm) dejando determinada cantidad de área foliar en pie que sería comparable con el remanente que dejan los herbívoros cuando pastorean (t Mannetje, 2000). En este último caso la biomasa cosechada corresponde esencialmente a material verde y representa la fracción de la productividad que se encuentra efectivamente disponible para los animales (McNaughton et al, 1996; t Mannetje, 2000). Cuando se corta por encima del nivel del suelo se sugiere realizar un corte previo de homogenización, a la misma altura a la que se realizará la cosecha y al inicio del período en el cual se evaluará la productividad, cosechándose al final del período lo que la pastura alcanza a crecer o "rebrotar" por encima de la altura determinada (Gardner, 1986; Frame, 1993; t Mannetje, 2000). Esto implica una notoria diferencia entre los métodos, fundamentalmente en lo que tiene que ver con el área foliar inicial a partir de la cual se va a evaluar la PPNA. Para poder evaluar esto, Rusch y Oesterheld (1997) proponen estimar la PPNA relativa como la PPNA en función de la biomasa en pie al inicio de cada estación.

En Uruguay, los pastizales (o campo natural) constituyen el ecosistema predominante, abarcando el 64% del territorio nacional (MGAP-DIEA 2011) siendo el principal sustento forrajero de los sistemas pastoriles extensivos. Tradicionalmente se han realizado estimaciones de la PPNA de pastizales en distintas zonas del país mediante cortes de biomasa (Formoso, 1994; Berretta y Bemhaja, 1998; Altesor et al, 2005; Montossi et al, 2013). En muchos de estos estudios no se explicita el método de estimación además de existir divergencias en los métodos de corte utilizados, lo que no permite la comparación formal de los resultados. La región Sierras del Este es una de las cuatro regiones geomorfológicas más importante de Uruguay (aprox. 2,5 millones de ha, 14,3% de la superficie del país; Panario, 1988) y presenta casi el 90% del área cubierta por pastizales (Baeza et al, 2011) conformando un mosaico integrado por varias comunidades descritas por Lezama et al (2011). Esta región se caracteriza por presentar campos ondulados y quebrados con pendientes de hasta 30%, sobre una gran diversidad de materiales geológicos que dan lugar a una importante heterogeneidad edáfica (Panario, 1988). A partir de la integración de técnicas de teledetección con la información provista por la fitosociología se resumieron y cartografiaron dos unidades de pastizal: pastizales abiertos (sobre suelos

superficiales) que representan el 39% del área y pastizales densos (sobre suelos medios y profundos) que representan el 48,5% (Baeza et al, 2011; Lezama et al, 2011).

Mas et al (1994) estudiaron la productividad de pastizales de las Sierras desde 1978 a 1987 a través de cortes sucesivos de biomasa siempre sobre la misma superficie del tapiz vegetal (sin utilizar jaulas móviles), con un intervalo de aproximadamente 45 días. La información aportada por este trabajo, valiosa en cuanto a la cantidad de años que abarca, muchas veces no es tenida en cuenta debido a la limitación que presenta haber realizado los cortes en el mismo sitio a lo largo de los 10 años. Otro problema que presenta esta información refiere a que la maquinaria de corte utilizada varió entre años lo cual determinó variaciones en la altura de la biomasa remanente que osciló entre 2,5 y 4 cm, según especifican los autores. Estos problemas no solo cuestionan la validez sino que además dificultan la comparación de los resultados de productividad obtenidos por Mas et al (1994) con las de otros sitios de pastizal. Cabe señalar además que la caracterización funcional de estos pastizales, a través de la estimación de la productividad, no se relacionó con aspectos estructurales de los mismos, por ej. la composición florística,

que permitiría conocer la unidad de pastizal de las Sierras del Este a la que corresponden.

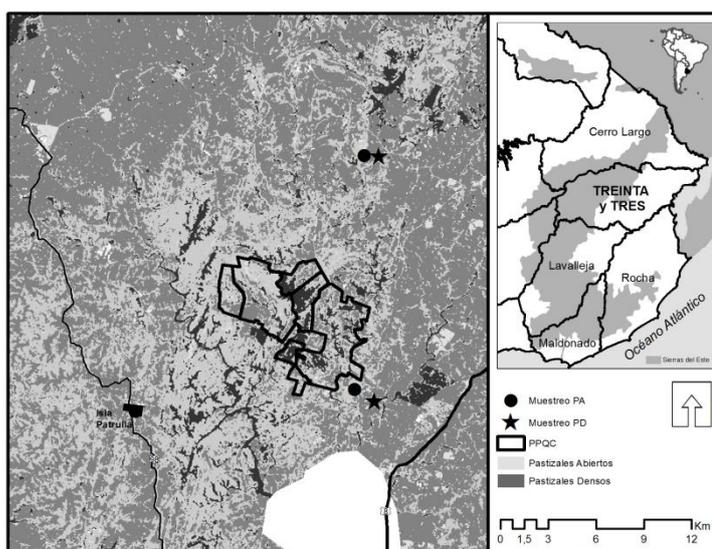
El objetivo del presente trabajo fue comparar la PPNA, tanto anual como intra-anual, de dos unidades de pastizal de las Sierras del Este estimada a través de dos métodos de corte de biomasa: cortando al ras del suelo (método ras) y dejando un remanente de 2 cm (método rebrote).

## Materiales y Métodos

### Sitio de estudio

El trabajo se realizó en un área de pastizales en el Este de Uruguay, comprendida entre los 32° 46' y 33° 03' S y los 54° 20' y 54° 36' O. La precipitación media acumulada es de 1015 mm y la temperatura media anual es de 16,8 °C (período 1961 – 1990; Dirección Nacional de Meteorología, 2016).

Se seleccionaron 4 sitios (2 en pastizales densos y 2 en pastizales abiertos; Figura 1) los cuales poseen características acordes a las dos unidades de pastizal de las Sierras del Este (Cuadro 1). El uso actual en los 4 sitios es pastoril, con ganado vacuno y ovino, coincidente con el principal uso de los pastizales de las Sierras del Este.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de los sitios de estudio correspondientes a las dos unidades de pastizal identificadas en las Sierras del Este, Uruguay. PA: pastizales abiertos. PD: Pastizales densos. PPQC: Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos (modificado de Baeza et al. 2011).

**Figure 1.** Geographic location of the study sites in the two grassland units of Sierras del Este, Uruguay. PA: open grasslands. PD: dense grasslands (modified from Baeza et al. 2011).

**Cuadro 1.** Características de los sitios seleccionados en las dos unidades de pastizal de las Sierras del Este, Uruguay (los valores corresponden a porcentaje promedio de cobertura).

**Table 1.** Characteristics of the selected sites in both grassland units of Sierras del Este, Uruguay (values correspond to the mean coverage percentage).

Característica	Pastizal abierto	Pastizal denso
Posición en el paisaje	Ladera alta convexa	Zona convexa - plana
Pendiente	Moderada a pronunciada	Moderada a leve
Suelo desnudo (%)	18,3	1,7
Rociedad (%)	10	0
Pedregosidad (%)	2,7	0
Musgos (%)	5	0
Bosta (%; ovina y bovina)	1	3,8

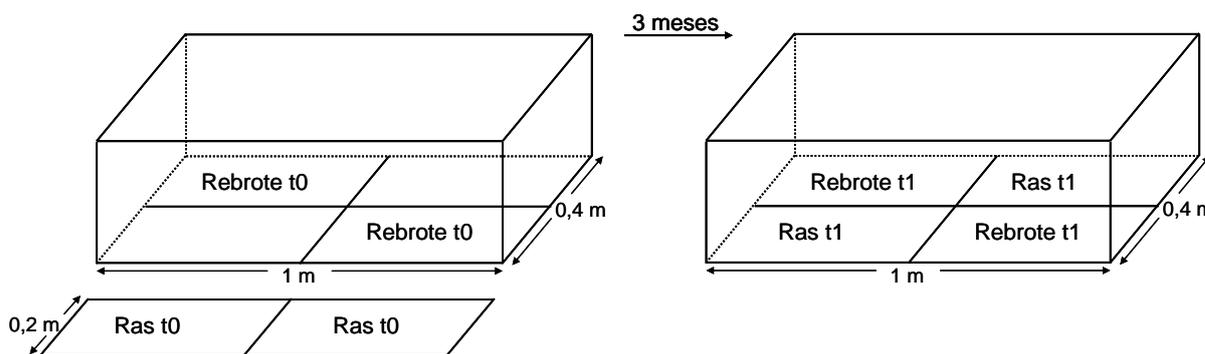
### Trabajo de campo y de laboratorio

Se realizó un relevamiento para caracterizar cada sitio en función de las siguientes variables: posición en el paisaje, pendiente, y área ocupada por suelo desnudo, piedra, roca, bosta y musgos en superficie (Cuadro 1). Entre junio de 2011 y junio de 2012 se colocaron, en cada uno de los 4 sitios, 4 jaulas móviles de exclusión del ganado de 1 x 0,4m, en las cuales se delimitaron cuatro cuadrantes de 0,5 x 0,2m (Figura 2).

Para la estimación de la PPNA se utilizaron dos métodos de corte de la biomasa: uno en el que se cortó el material vegetal por encima de 2cm del suelo (a este método lo llamamos “rebrote”) y otro en el que se cortó el material vegetal al ras del suelo (lo denominamos método “ras”; Figura 2). Al momento de colocar las jaulas se establecieron los tiempos iniciales de crecimiento ( $t_0$ ) coincidiendo con el comienzo de cada estación, desde junio de 2011 hasta marzo de 2012. Luego de aproximadamente tres meses, al final de cada estación, se cosechó la biomasa vegetal correspondiente a los tiempos finales de crecimiento ( $t_1$ ), desde setiembre de 2011 hasta junio de 2012 (Cuadro 2).

Para el método rebrote, al momento de instalar las jaulas, se removió el material vegetal por encima de los 2cm del suelo (homogenización) en dos cuadrantes cruzados dentro de cada jaula. En el tiempo  $t_1$  se cosechó la biomasa por encima de los 2cm (correspondiente al crecimiento estacional o “rebrote”) en los mismos cuadrantes. Para el método ras, al inicio de cada estación, se cosechó el material vegetal en dos cuadrantes del pastizal (biomasa inicial en  $t_0$ ), y adyacente a éstos se colocaron las jaulas. Luego de transcurridos los tres meses se cosechó toda la biomasa en pie por encima del suelo (biomasa final en  $t_1$ ) en los dos cuadrantes cruzados dentro de la jaula no empleados por el método rebrote (Figura 2).

Luego de las cosechas estacionales, las jaulas se reubicaron dentro de la misma parcela, a no menos de 10m de distancia de la ubicación anterior (de acuerdo a lo sugerido por Klingman et al, 1943), manteniéndose dentro de la unidad de pastizal correspondiente. En el caso de los sitios de pastizal abierto se colocaron sobre lugares con un máximo de 10% de rocosidad o pedregosidad en superficie. Al inicio de cada estación y antes de cortar se registró la altura del tapiz con una regla milimetrada, en tres puntos dentro de cada uno de



**Figura 2.** Esquema de una jaula de exclusión en la que se muestran los cuadrantes de corte de biomasa, la combinación de los dos métodos de corte (ras y rebrote) y el tiempo de inicio ( $t_0$ ) y fin ( $t_1$ ) de cosecha de la biomasa vegetal.

**Figure 2.** Schematic representation of an exclusion cage showing the quadrants where plant biomass was cut, the combination of the two cut methods and the initial and final time of biomass harvest.

**Cuadro 2.** Fecha de instalación de las jaulas y de corte de biomasa y total de días de crecimiento de la biomasa vegetal para cada estación del año en las dos unidades de pastizal de Sierras del Este, Uruguay.

**Table 2.** Date of cage installation and of biomass harvest and total days of growth of the plant biomass for each season in both grassland units of Sierras del Este, Uruguay.

Estación	Instalación jaula	Corte	Total días
Invierno	24/06/2011	15/09/2011	83
Primavera	15/09/2011	19/12/2011	95
Verano	19/12/2011	22/03/2012	94
Otoño	22/03/2012	18/06/2012	88

los cuatro cuadrantes del interior de cada jaula así como en los dos cuadrantes fuera de las mismas. La altura del tapiz se determinó donde declinaba el estrato dominante de biomasa aérea verde (Stewart et al, 2001). Todo el material cosechado fue guardado en bolsas de nylon, etiquetado y conservado en freezer a -12 °C hasta su procesamiento en el laboratorio. El material cosechado por el método rebrote (que correspondió a material verde en su totalidad) se secó en estufa a 70 °C durante 48 hs. El material cosechado por el método ras se separó en material verde y seco, y luego se siguió el mismo proceso de secado antes mencionado.

A efectos de contar con una caracterización florística de los pastizales de los cuatro sitios estudiados, se realizaron listas completas de especies y estimaciones visuales de la cobertura - abundancia vegetal de cada unidad de pastizal empleando la escala de Braun-Blanquet (Mueller - Dombois y Ellenberg, 1974). Para ello se emplearon tres cuadros de 1x1m en cada sitio en el área donde estaban instaladas las jaulas. Para caracterizar cada unidad de pastizal se promediaron los valores correspondientes a los dos sitios y se calculó la relación entre la cobertura de gramíneas estivales e invernales (GE/GI).

#### *Análisis de datos*

Para el cálculo de la PPNA, se utilizaron los datos de materia seca (MS) obtenidos luego de que el material fuera secado en la estufa y pesado. La PPNA estacional fue expresada en gramos de MS/m<sup>2</sup>/día para cada unidad de pastizal, en cada sitio y de acuerdo a cada método de corte. La suma de las cuatro PPNA estacionales determinó la PPNA anual y fue expresada en kg MS/ha/año. Para los análisis, los dos cuadrantes de cada jaula fueron agrupados y las jaulas (subparcelas) fueron consideradas réplicas (n=4). Para el método rebrote se consideró el peso seco total de la biomasa cosechada dividido por el número de días de crecimiento. Para el método ras la PPNA se calculó mediante la suma de las diferencias positivas entre la biomasa total final (t1) y la total inicial (t0) de cada fracción vegetal por separado (biomasa verde y seca en pie) dividido por el número de días de crecimiento (modificado de Sala et al, 1981).

Para evaluar el efecto del método de corte sobre las estimaciones de PPNA obtenidas se exploraron diferentes especificaciones de un Modelo lineal mixto, con efectos fijados por la unidad de pastizal, la estación y el método de corte, y posibles efectos aleatorios del sitio y/o de las subparcelas (jaulas). La significancia de los factores incluidos en el modelo fue evaluada mediante el método ANOVA. Por último se realizó el análisis de los residuos para validar el modelo. Se realizaron comparaciones múltiples (con corrección de Tukey) y se analizaron los intervalos de confianza de las predicciones del modelo ajustado para identificar diferencias significativas entre las estaciones dentro de un mismo nivel de los restantes dos factores (método de corte y unidad de pastizal).

Con los valores de biomasa al inicio de cada estación se calculó la PPNA relativa. Dichos valores de biomasa inicial se obtuvieron mediante cortes en los cuadrantes cortados al ras (en aquellos delimitados fuera de la jaula, Figura 2) y para el

caso de los cuadrantes cortados a 2cm se estimaron a partir de los datos de altura y biomasa cosechados con el método ras (Anexo 2). Para ello se realizaron análisis de regresión lineal entre la altura y la biomasa cosechada al ras del suelo. Para los casos en donde la regresión no fue significativa (invierno 2011), se utilizó el valor de biomasa estimada a partir de la regresión lineal de todo el conjunto de datos. Con los valores así calculados de PPNA relativa se ajustó un modelo lineal generalizado (sin factores aleatorios pero permitiendo que los errores presenten varianzas no iguales) con los factores estación, método, interacción estación x método y de forma solo aditiva la variable unidad de pastizal. Mediante el método ANOVA se analizó la significancia de los factores incluidos en el modelo. Para esta variable también fue necesaria la transformación de los valores a raíz cuadrada y se ajustó un modelo con estructura en la matriz de varianza de los errores dependiente del método y de la estación. El análisis de los residuos del modelo con los datos transformados indicó que éstos son homocedásticos pero no normales. Como los residuos son bastante simétricos se puede apelar a que el método es robusto ante desvíos de la normalidad y asumirlo como válido. Finalmente, se analizaron los intervalos de confianza de las predicciones para identificar diferencias entre las estaciones.

Para el ajuste de todos los modelos se utilizó el paquete *nlme* (Pinheiro et al, 2015) implementado en el software R versión 3.1.2 (R Development Core Team 2014).

## **Resultados**

### *PPNA*

Los pastizales densos presentaron una mayor PPNA acumulada anual que los pastizales abiertos (28% más cortando al ras y 20% más dejando un remanente de 2cm) y estas diferencias significativas se detectaron a lo largo del año y para ambos métodos de corte de biomasa empleados (Cuadro 3). La PPNA promedio de cada unidad de pastizal se obtuvo promediando los valores de los 2 sitios, ya que los efectos a este nivel no fueron significativos.

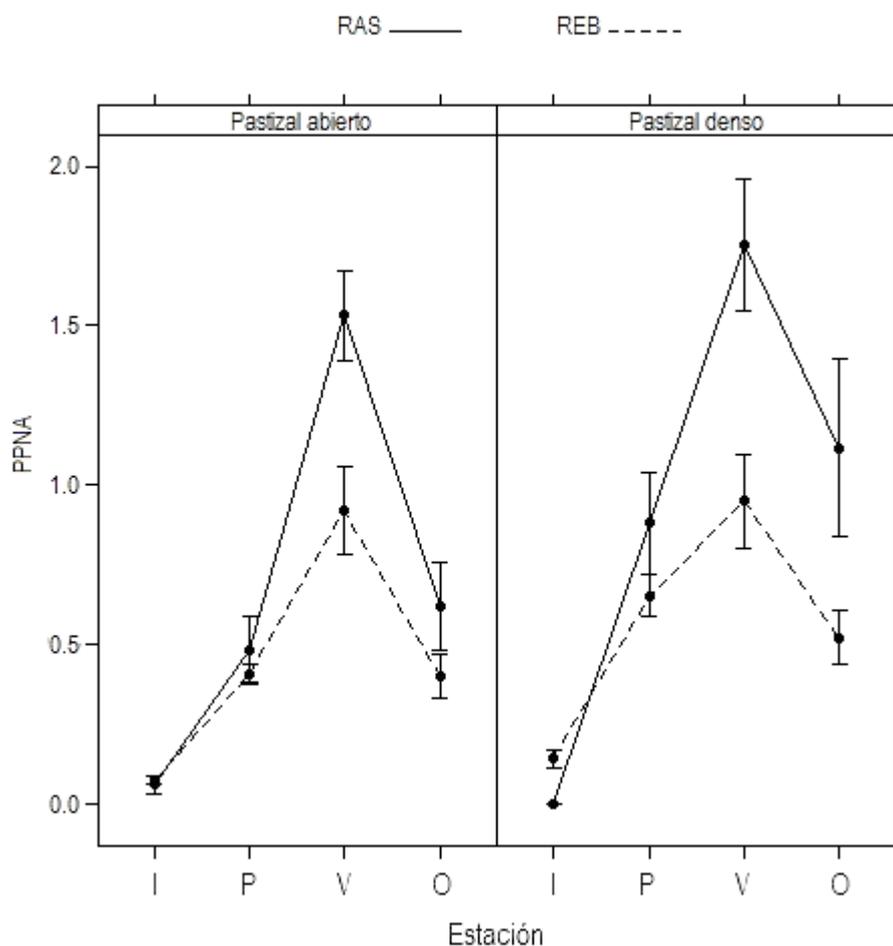
La PPNA mostró un patrón estacional marcado y consistente para ambos métodos de estimación y unidades de pastizal: un pico de producción de biomasa en verano y una producción muy baja, casi nula, en invierno (Figura 3). Las comparaciones múltiples y el análisis de los intervalos de confianza de las predicciones mostraron diferencias significativas en la PPNA en dos de las cuatro estaciones (primavera y verano). Estas diferencias se detectaron para ambos métodos de corte de biomasa y ocurrieron de igual manera en pastizales densos y abiertos.

En general, el método ras de corte de biomasa produjo estimaciones de la PPNA más altas (33% y 40% en pastizales abiertos y densos, respectivamente) y más variables a lo largo del año que el método rebrote (Figura 3). Además, dada la interacción significativa entre el método y la estación, los cambios en la productividad estacional fueron mayor o menormente acentuados según el método de corte utilizado. En verano se observaron las mayores diferencias entre métodos, mientras que en la estación menos productiva (invierno) no se observan diferencias.

**Cuadro 3.** Producción Primaria Neta Aérea anual (kg/ha/año, promedio  $\pm$  error estándar) en pastizales abiertos y densos de las Sierras del Este, Uruguay, estimada a partir de dos métodos de corte de biomasa.

**Table 3.** Annual Aboveground Net Primary Productivity (kg/ha/year, mean  $\pm$  standard error) in open and dense grasslands of Sierras del Este, Uruguay, estimated by two methods of biomass harvest.

Pastizal	Método Ras	Método Rebrote
Abierto	2489 $\pm$ 222	1663 $\pm$ 137
Denso	3463 $\pm$ 389	2081 $\pm$ 244



**Figura 3.** Productividad Primaria Neta Aérea estacional (PPNA, g/m<sup>2</sup>/día) en pastizales abiertos y densos de las Sierras del Este, Uruguay, estimada a partir de dos métodos de corte de biomasa. I = invierno; P = primavera; V = verano; O = otoño.

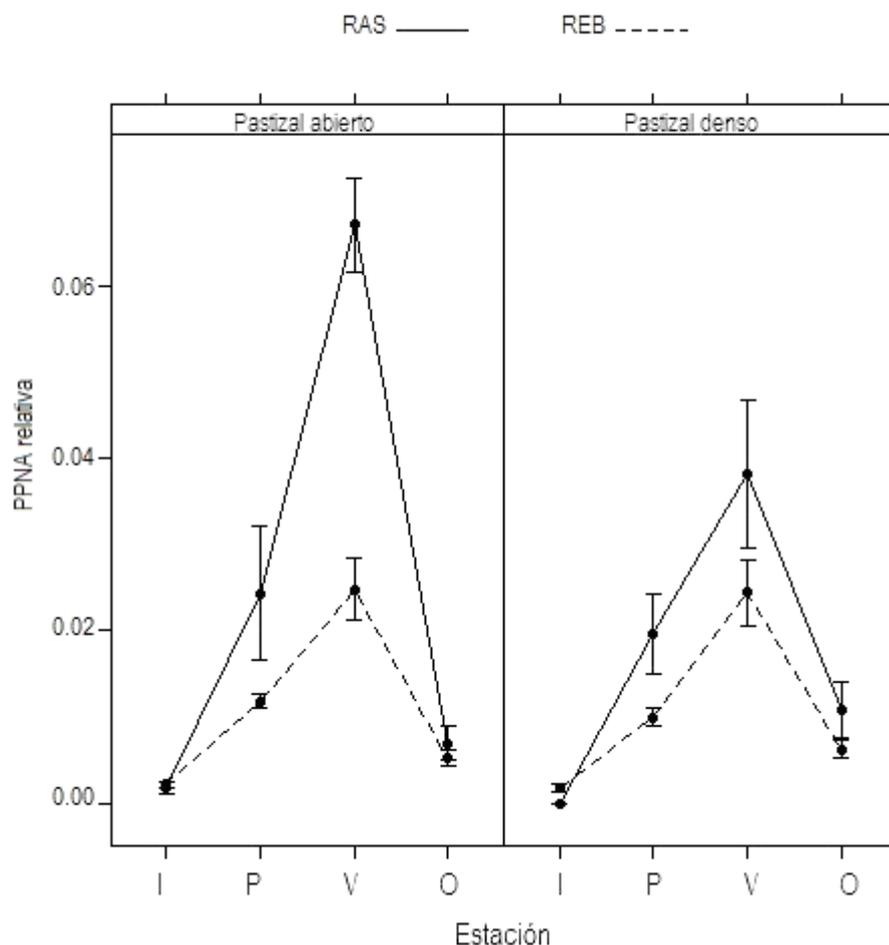
**Figure 3.** Seasonal Aboveground Net Primary Productivity (ANPP, g/m<sup>2</sup>/day) in open and dense grasslands of Sierras del Este, Uruguay, estimated by two method of biomass harvest. I = winter; P = spring; V = summer; O = autumn.

En el modelo ajustado para la PPNA se detectaron efectos significativos de la estación del año, del método de corte y de la unidad de pastizal, así como de la interacción método\*estación. Los efectos de la unidad de pastizal fueron únicamente aditivos. Comparando los valores de F reportados para cada factor se observa que la estación del año explicó la mayor proporción de la variación observada en la PPNA (F=78,33; p<0,0001); el resto de la variación fue explicada por la interacción estación\*método (F=14,45;

p<0,0001), el método de corte (F=9,32; p=0,0034) y por último el tipo de pastizal (F=6,97; p=0,0106).

#### PPNA relativa

La PPNA relativa mostró un patrón estacional similar al observado en la PPNA absoluta; la mayor productividad en función de la biomasa en pie al inicio de cada estación también se observó en verano en ambos tipos de pastizal (Figura 4). El método de corte al ras produjo estimaciones de PPNA relativa mayores en primavera y verano que cortando con el método rebrote. A diferencia de lo observado en la



**Figura 4.** Productividad Primaria Neta Aérea relativa por estación (PPNA relativa, g/g) en pastizales abiertos y densos de las Sierras del Este, Uruguay, estimada a partir de dos métodos de corte de biomasa. I = invierno; P = primavera; V = verano; O = otoño.

**Figure 4.** Seasonal relative Aboveground Net Primary Productivity (relative ANPP, g/g) in open and dense grasslands of Sierras del Este, Uruguay, estimated by two method of biomass harvest. I = winter; P = spring; V = summer; O = autumn.

PPNA absoluta, las diferencias entre los tipos de pastizal estuvieron dadas fundamentalmente por una mayor PPNA relativa en verano en los pastizales abiertos cuando se cortó la biomasa al ras del suelo (Figura 4). En el modelo ajustado para esta variable se detectaron efectos significativos de la estación del año ( $F=167,59$ ;  $p<0,0001$ ), de la interacción estación\*método ( $F=14,79$ ;  $p<0,0001$ ) y del tipo de pastizal ( $F=4,54$ ;  $p=0,035$ ). El análisis de los intervalos de confianza de las predicciones mostró diferencias significativas en la PPNA relativa entre todas las estaciones del año tanto en los pastizales densos como en los abiertos y para ambos métodos de corte de la biomasa.

#### Caracterización florística de los sitios

Se identificaron 79 y 62 especies en los pastizales densos y abiertos respectivamente. En ambos casos aproximadamente la tercera parte de las especies registradas fueron gramíneas. La relación entre la cobertura de gramíneas estivales e invernales (GE/GI) fue de 9,7 en los pastizales densos y 13,2 en los abiertos. Las especies con mayores valores de cobertura-abundancia ( $\geq 5$ ) fueron *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum*, *Richardia humistrata*,

*Piptochaetium montevidense* y *Paspalum pumillum* en los sitios de pastizal denso, mientras que en los de pastizal abierto fueron *Trachypogon montufari*, *Aristida venustula*, *Richardia humistrata*, *Axonopus argentinus*, *Piptochaetium montevidense* y *Paspalum notatum* (Anexo 1).

#### Discusión

Este trabajo evidenció que el efecto del método de corte fue más importante que las diferencias en productividad debidas al tipo de pastizal. En el presente estudio se cuantificó por primera vez el efecto del método de corte de biomasa sobre la estimación de la PPNA en pastizales de Uruguay. En las Sierras del Este, la PPNA anual de los pastizales abiertos resultó ser un 33% mayor cortando la biomasa al ras del suelo que cortando a los 2cm de altura, mientras que en el caso de los pastizales densos dicha diferencia fue del 40% a favor del corte al ras. Observamos además que el efecto del método de corte dependió de la estación del año, siendo mayor en verano. Asimismo, este estudio aportó información sobre la productividad, tanto anual como estacional, de las principales unidades de pastizal

de las Sierras del Este, que representan en conjunto casi el 90% del área de pastizales de dicha región.

A pesar de la larga historia de uso pastoril de la región Sierras del Este, de la importante extensión territorial que abarca y de la rica heterogeneidad de suelos y comunidades de pastizal que presenta, existen muy pocos antecedentes sobre la productividad de estos pastizales. Como se mencionó, el trabajo de Más et al (1994) si bien contempló una larga serie temporal es cuestionada su validez por haber cortado a lo largo del año y durante 10 años en los mismos cuadrantes. Esto posiblemente sea una de las causas de los bajos valores de PPNA indicados por estos autores para los pastizales de las Sierras, 1394 kg/ha/año en promedio, con un máximo de 2693 y un mínimo de 663 kg/ha/año, ubicándose además entre los valores más bajos reportados para pastizales en Uruguay. En este trabajo los pastizales densos produjeron en promedio 2772 y los abiertos 2076 kg/ha/año. Además, los datos de Mas et al (1994) no especifican el tipo de pastizal en el cual se realizó el trabajo. Estos antecedentes denotan la necesidad de contar con más datos locales de productividad que contemplen la heterogeneidad de suelos y comunidades vegetales presentes en los pastizales de las Sierras del Este.

La productividad de los pastizales de las Sierras del Este presentó una notoria variación estacional acorde a los antecedentes para pastizales de zonas templadas (Briggs y Knapp, 1995; Knapp y Smith, 2001). Mientras que en invierno la PPNA fue casi nula en ambas unidades de pastizal, en verano se observó el pico de producción de biomasa, con valores que oscilaron entre 0,91 y 1,75 gMS/m<sup>2</sup>/día en pastizales abiertos cortando por el método rebrote y en pastizales densos cortando con el método ras, respectivamente. Los efectos de la estación del año se potenciaron o se atenuaron con uno u otro método de corte de biomasa (Figura 3). Las mayores diferencias en las estimaciones de la PPNA se observaron cuando se cortó la biomasa al ras del suelo en verano y otoño: en pastizales abiertos la PPNA resultó 67 y 55% mayor mientras que en los pastizales densos dichas diferencias fueron de 85 y 114% en verano y otoño respectivamente. Además, las estimaciones de PPNA por el método ras produjeron estimaciones más variables a lo largo del año que las obtenidas a partir del método rebrote. Mientras que en el método rebrote se realizó un corte de homogenización a 2 cm al inicio de cada estación, en el método ras se evaluó la PPNA a partir del total de biomasa existente en el tiempo t<sub>0</sub> (cuantificada en los cuadrantes fuera de la jaula). Observamos que la altura del tapiz en t<sub>0</sub> en dichos cuadrantes varió estacionalmente: mientras que al inicio del invierno y de la primavera fue de aprox. 2 cm, a comienzos de verano y otoño fue de aprox. 4 cm, tanto en los sitios de pastizal abierto como en los de pastizal denso (Anexo 2). Las mayores diferencias en las estimaciones de PPNA en verano y otoño cortando al ras pueden deberse en parte a que en estos cuadrantes la biomasa que estaba produciendo era superior, duplicando en altura a la de los cuadrantes cortados por el método rebrote. Además, el método de corte al ras produjo estimaciones de PPNA relativa mayores en primavera y verano que cortando con el método rebrote. Esto implica una notoria diferencia

entre los métodos tanto en la cantidad como en la calidad del área foliar inicial a partir de la cual se estimó la PPNA. Otra posible explicación de la mayor variación que presentaron las estimaciones de la PPNA cuando se cosechó al ras del suelo puede referir a posibles problemas de contaminación del material vegetal con partículas de suelo (Frame, 1993).

En relación a la altura a la que se cosecha la biomasa se ha señalado que es un factor de variación que impone limitaciones a la hora de comparar la productividad entre pastizales así como también cuando se compara el rendimiento de especies forrajeras (Hunt, 1961; Gardner, 1967). Hunt (1961) observó que el mayor porcentaje de biomasa en plantas de *Dactylis glomerata* y *Lolium perenne* se concentró en las capas más bajas cuando analizó la distribución del forraje según la altura sobre el nivel del suelo. En el caso de pastizales destinados a la producción ganadera se ha observado que el pastoreo incrementa la densidad de plantas y la concentración de biomasa cerca del suelo (Sala et al, 1981). Esto significa que ligeras variaciones en la altura de corte en dicha zona pueden cambiar significativamente estimaciones de productividad de las pasturas. En el trabajo de Mas et al (1994) se especifica que la altura de corte no fue constante y que el remanente de forraje variaba entre 2,5 y 4 cm. Este puede ser otro de los factores que explique la gran variación de los resultados obtenidos en dichos trabajos y que implique limitantes a la hora de comparar con nuestros resultados.

Nuestros resultados señalan que en las Sierras del Este los pastizales densos son más productivos que los pastizales abiertos (28% más cortando al ras y 20% más cortando la biomasa por encima de los 2 cm). Los primeros se desarrollan sobre suelos profundos, presentan 95% de cobertura vegetal y la arquitectura del canopeo es más densa que en los pastizales abiertos. Estas características están relacionadas con una mayor capacidad de intercepción y absorción de radiación (Barnes et al, 1995). Los pastizales abiertos en cambio, se desarrollan sobre suelos superficiales y, de acuerdo a nuestros relevamientos, más del 30% de la superficie no está ocupada por vegetación (Cuadro 1). Si bien ambos tipos de pastizal presentaron un comportamiento estacional similar con una producción casi nula en invierno y un pico de producción en verano, es en esta estación en la que resalta la mayor productividad de los pastizales densos. La relación GE/GI mostró claramente un predominio de especies estivales en ambos casos. Si bien la proporción de gramíneas estivales en los pastizales abiertos fue mayor (13,2 vs 9,7) la producción de biomasa en esta unidad de pastizal puede estar limitada por otros factores diferentes a la composición florística como la disponibilidad de agua, estrechamente relacionada con la profundidad del suelo (Lezama et al, 2011). La mayor presencia de bosta que encontramos en los sitios de pastizal denso en relación a los de pastizal abierto podría estar reflejando un uso pastoril más intenso acorde a la mayor capacidad de carga de los primeros (Cuadro 1).

La productividad de los pastizales de las Sierras del Este en función de la biomasa en pie presente al inicio de cada estación (PPNA relativa) mostró un patrón estacional similar al observado en la PPNA absoluta (Figuras 3 y 4) con valores

casi nulos en invierno y un pico de producción en verano. Sin embargo cuando se analiza el efecto de la interacción entre la estación y el método de corte encontramos que las diferencias entre los tipos de pastizal estuvieron dadas fundamentalmente por una mayor PPNA relativa en verano en los pastizales abiertos cuando se cortó la biomasa al ras del suelo. Cabe recordar que en verano y cortando al ras los pastizales densos fueron los que presentaron la mayor PPNA absoluta. Esto significa que en verano el gramo de biomasa en pie en los pastizales abiertos tiende a ser más productivo que el gramo en pie en los pastizales densos. Varios factores podrían estar explicando este resultado. Por un lado los pastizales abiertos presentaron una mayor presencia de gramíneas estivales en relación a las invernales. Sobre este aspecto Rusch y Oesterheld (1997) concluyeron que la identidad de las especies podría tener una influencia significativa en los procesos ecosistémicos como la productividad. Además, las gramíneas estivales poseen mayores tasas de producción por unidad de biomasa (Sala et al, 1981) lo que también podría incidir en los mayores valores de PPNA relativa que encontramos en los pastizales abiertos en verano. Otro aspecto a considerar refiere a la densidad y arquitectura del canopeo ya que determinan la distribución y calidad de la luz que podrá ser interceptada por el área foliar, lo cual afectará la producción de biomasa (Barnes et al. 1995). De acuerdo a los valores de altura y biomasa registrados en el tiempo t0 en los cuadrantes situados fuera de las jaulas (Anexo 2) los sitios de pastizal denso presentaron un canopeo más cerrado en relación a los de pastizal abierto. Si bien la altura del tapiz al inicio de cada estación fue similar en los sitios de pastizal abierto y denso, en estos últimos la cantidad de biomasa inicial fue mayor, especialmente en primavera y verano, 98 y 75% respectivamente.

El presente trabajo muestra claras evidencias sobre la necesidad de estandarizar el método de corte de biomasa cuando se realizan estimaciones de productividad de pastizales para poder realizar comparaciones válidas entre diferentes sitios y trabajos. Recomendamos cortar dejando 2cm de biomasa remanente en pie considerando las ventajas que representa este método: es más fácil y barato, disminuye problemas de contaminación por suelo (Frame, 1993), la biomasa cosechada corresponde esencialmente a material verde y representa la fracción de la productividad que se encuentra efectivamente disponible para los animales (McNaughton et al, 1996; 't Mannetje, 2000).

### Agradecimientos

El presente trabajo reúne parte de los resultados obtenidos en el marco de un proyecto llevado a cabo con productores ganaderos de la Cooperativa Agraria Quebrada de los Cuervos, Uruguay. Los autores agradecen a los productores de la Cooperativa y especialmente a J. Iguini. Agradecemos a V. Cayssials por el asesoramiento estadístico y la revisión del manuscrito.

Este trabajo fue financiado por el Programa Pequeñas Donaciones y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (URY/SGP/OP4/Y3/CORE/2010/10).

### Bibliografía

- ALTESOR, A., OESTERHELD, M., LEONI, E., LEZAMA, F. y RODRÍGUEZ, C. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. *Plant Ecology* 179: 83-91.
- ANSLOW, R. y GREEN, J. 1967. The seasonal growth of pasture grasses. *Journal of Agricultural Science* 68: 109 – 122.
- BAEZA, S., LEZAMA, F., PIÑEIRO, G., ALTESOR, A. y PARUELO, J. 2010. Spatial variability of aboveground net primary production in Uruguayan grasslands: a remote sensing approach. *Applied Vegetation Science* 13:72-85.
- BAEZA, S., GALLEGO, F., LEZAMA, F., ALTESOR, A. y PARUELO, J. 2011. Cartografía de los pastizales naturales en las regiones geomorfológicas de Uruguay predominantemente ganaderas. In: Altesor, A., Ayala, W. y Paruelo, J. (eds.) *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales*. Serie FPTA INIA 26. pp. 33 – 54.
- BARNES, R., MILLER, D. y NELSON, C. 1995. *Forages, an introduction to grassland agriculture*. Ames, Iowa State University.
- BERRETTA, E. y BEMHAJA, M. 1998. Producción estacional de comunidades naturales sobre suelos de basalto de la Unidad Queguay Chico. In: Seminario de actualización en tecnologías para Basalto. INIA Tacuarembó. Serie Técnica 102. pp 11 – 20.
- BRIGGS, J. y KNAPP, A. 1995. Interannual variability in primary production in tallgrass prairie: climate, soil moisture, topographic position and fire as determinants of aboveground biomass. *American Journal of Botany* 82:1024-1030.
- DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 2016. <http://meteorologia.gub.uy/index.php/estadisticas-climaticas/TreintayTres>
- FORMOSO, D. 1994. Productividad y manejo de pasturas naturales en Cristalino. In: Carámbula, M., Vaz, D. e Indarte, E. (eds.) *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva*. Serie Técnica INIA Nº 13. pp. 51 – 57.
- FRAME, J. 1993. Herbage mass. In: Davies, A., Baker, R., Grant, S. y Laidlaw, A. (eds.). *Sward measurement handbook*. Second edition. British Grassland Society. University of Reading. Reading. pp. 39 – 67.
- GARDNER, A. 1967. Estudio sobre los métodos agronómicos para la evaluación de las pasturas. IICA – Zona Sur. Montevideo. 80 pp.
- HUNT, I. 1961. Spatial limits to grass production. In: *Proceedings of 8vo. International Grassland Congress*. Reading, 1960. pp. 273 – 275.
- KLINGMAN, D., MILES, S. y MOTT, G. 1943. The cage method for determining consumption and yield of pasture herbage. *Journal of the American Society of Agronomy* 35: 739 – 746.
- KNAPP, A. y SMITH, M. 2001. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. *Science* 291: 481-484.
- KNAPP, A., BRIGGS, J., CHILDERS, D. y SALA, O. 2007. Estimating aboveground net primary production in grassland and herbaceous-dominated ecosystems. In: Fahey, T. y Knapp, A. (eds.). *Principles and Standards for Measuring Primary Production*. LTER series. Oxford University Press. pp. 27 – 48.
- KUCERA, D., DAHLMAN, R. y KOELLING, R. 1967. Total net primary productivity and turnover on an energy basis for tallgrass prairie. *Ecology* 48: 536 – 541.
- LEZAMA, F., BAEZA, S., ALTESOR, A., CESA, A., CHANETON, E. y PARUELO, J. 2014. Variation of grazing-induced vegetation changes across a large-scale productivity gradient. *Journal of Vegetation Science* 25: 8-21.
- LEZAMA, F., ALTESOR, A., PEREIRA, M. y PARUELO, J. 2011. Descripción de la heterogeneidad florística en los pastizales naturales de las principales regiones geomorfológicas de Uruguay. In: Altesor, A., Ayala, W. y Paruelo, J. (eds.) *Bases*

- ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales. Serie FPTA INIA Nº 26. pp. 15-32.
- LONG, S., GARCÍA MOYA, E. y IMBAMBA, S. 1989. Primary productivity of natural grass ecosystems of the tropics: a reappraisal. *Plant and Soil* 115: 155 – 166.
- MAS, C., BERMÚDEZ, R. y AYALA, W. 1994. Crecimiento de las pasturas naturales en dos suelos de la Región Este. In: Carámbula, M., Vaz, D. e Indarte, E. (eds.) *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva*. Serie Técnica INIA Nº 13. pp. 59 – 67.
- McNAUGHTON, S.J., OESTERHELD, M., FRANK, D.A. y WILLIAMS, K.J. 1989. Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature* 341:142-144.
- McNAUGHTON, S., MILCHUNAS, D. y FRANK, D. 1996. How can net primary productivity be measured in grazing ecosystems? *Ecology* 77: 974-977.
- MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS (MGAP-DIEA) 2011. *Censo General Agropecuario*. Disponible en [www.mgap.gub.uy](http://www.mgap.gub.uy)
- MONTOSSI, F., De BARBIERI, I. y DIGIERO, A. 2013. El uso de la altura del forraje: una herramienta disponible para el manejo eficiente de sistemas pastoriles orientados a la producción ovina. In: F. Montossi, y I. De Barbieri (eds.) *Tecnologías de engorde de corderos pesados sobre pasturas mejoradas en el Uruguay*. Serie Técnica INIA Nº 206. pp. 159 – 182.
- MUELLER-DOMBOIS, D. y ELLENBERG, H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley & Sons, New York.
- OESTERHELD, M., SALA, O.E. y McNAUGHTON, S.J. 1992. Effect of animal husbandry on herbivore-carrying capacity at a regional scale. *Nature* 356:234-236.
- OESTERHELD, M., LORETI, J., SEMMARTIN, M. y PARUELO, J. 1999. Grazing, fire, and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. In: Walker, L. (ed.) *Ecosystems of disturbed ground*. Elsevier, Amsterdam. pp. 287-306.
- OESTERHELD, M., LORETI, J., SEMMARTIN, M., y SALA, O.E. 2001. Inter-annual variation in primary production of a semi-arid grassland related to previous-year production. *Journal of Vegetation Science* 12: 137-142.
- PANARIO, D. 1988. *Geomorfología de Uruguay*. Facultad de Humanidades y Ciencias. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
- PINHEIRO, J., BATES, D., DEBROY, S., SARKAR, D. y CORE TEAM, R. 2015. *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-122, <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- RUSCH, G. y OESTERHELD, M. 1997. Relationship between productivity and species and functional group diversity in grazed and non-grazed Pampas grassland. *Oikos* 78:519-526.
- SALA, O., DEREGIBUS, V., SCHLICHTER, T. y ALIPPE, H. 1981. Productivity dynamics of a native temperate grassland in Argentina. *Journal of Range Management* 34: 48-51.
- SALA, O. y AUSTIN, A. 2000. Methods of estimating aboveground net primary productivity. In: Sala, O., Jackson, R., Mooney, H. y Howarth, R. (eds.) *Methods in Ecosystem Science*. Springer. New York. pp. 31 – 43.
- SCURLOCK, J., JOHNSON, K., y OLSON, R. 2002. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology* 8: 736-753.
- SINGH, J., LAUENROTH, W. y STEINHORST, R. 1975. Review and assessment of various techniques for estimating net primary production in grasslands from harvest data. *The Botanical Review* 41:181-232.
- STEWART, K., BOURN, N. y THOMAS, J. 2001. An evaluation of three quick methods commonly used to assess sward height in ecology. *Journal of Applied Ecology* 38: 1148 – 1154.
- †MANNETJE, L. 2000. Measuring biomass of grassland vegetation. In: L. †Mannetje y R.M. Jones (eds.). *Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. CAB International. Cambridge. pp. 151 – 178.

**Anexo 1.** Listado de especies presentes en pastizales de las Sierras del Este, Uruguay, y valores de cobertura-abundancia empleando la escala de Braun-Blanquet. Los valores corresponden a los promedios de los dos sitios para cada unidad de pastizal (en negritas se señalan las especies que presentaron valores de cobertura – abundancia  $\geq 5$ ).

ESPECIE	PASTIZAL	
	denso	abierto
<i>Agalinis communis</i>	0,01	---
<i>Agrostis montevidensis</i>	0,05	---
<i>Agrostis tandilensis</i>	---	0,01
<i>Aira elegans</i>	---	0,50
<i>Alophia lahue</i>	---	0,03
<i>Andropogon ternatus</i>	0,21	2,66
<i>Apium leptofilum</i>	0,03	---
<i>Aristida murina</i>	0,20	0,35
<i>Aristida teretifolia</i>	---	0,01
<i>Aristida venustula</i>	0,03	<b>8,70</b>
<i>Axonopus affinis</i>	<b>26,6</b>	0,18
<i>Axonopus agentinus</i>	1,83	<b>7,50</b>
<i>Ayenia mansfeldiana</i>	---	0,01
<i>Baccharis crispa</i>	0,33	0,16
<i>Baccharis ocracia</i>	0,01	0,85
<i>Baccharis trimera</i>	0,50	--
<i>Borreria fastigiata</i>	0,05	0,20
<i>Bothriochloa laguroides</i>	1,36	---
<i>Briza minor</i>	0,03	---
<i>Briza subaristata</i>	0,05	0,03
<i>Buchnera integrifolia</i>	---	---
<i>Bulbostylis sp.</i>	---	0,18

<i>Carex pharaloides</i>	4,35	---
<i>Chaptalia excapa</i>	0,03	0,02
<i>Chaptalia piloselloides</i>	0,01	---
<i>Chevreulia accuminata</i>	0,36	---
<i>Chevreulia sarmentosa</i>	0,53	0,53
<i>Cliococca selaginoides</i>	---	0,01
<i>Coelorachisselloana</i>	0,85	0,18
<i>Conyza chilensis</i>	---	---
<i>Conyza hispida</i>	0,01	---
<i>Cuphea glutinosa</i>	0,10	---
<i>Cyperus reflexus</i>	---	0,01
<i>Danthonia cirrata</i>	---	0,51
<i>Danthonia rizomata</i>	0,08	0,16
<i>Dichondra sericea</i>	0,18	0,33
<i>Eleocharis sp.</i>	0,01	---
<i>Eragrostis bahiensis</i>	0,08	---
<i>Eragrostis lugens</i>	0,01	---
<i>Eragrostis neesii</i>	1,70	1,05
<i>Eryngium horrydum</i>	---	---
<i>Eryngium nudicaule</i>	0,01	0,03
<i>Eustachys bahiensis</i>	0,01	0,16
<i>Evolvulus sericeus</i>	0,05	0,08
<i>Fimbristilis sp.</i>	0,03	---
<i>Galactia marginalis</i>	0,08	0,01
<i>Gallium sp.</i>	0,01	---
<i>Gamochaeta sp.</i>	0,01	0,01
<i>Gymnopogon sp.</i>	0,03	0,05
<i>Helianthemum brasiliense</i>	---	0,08
<i>Hipochoeris sp.</i>	0,01	---
<i>Hypoxis decumbens</i>	0,08	---
<i>Hysterionica sp.</i>	---	2,70
<i>Juncus capillaciis</i>	0,21	---
<i>Justicia axilaris</i>	---	---
<i>Leptocoriphium lanatum</i>	0,03	0,01
<i>Lotus angustissimus</i>	0,03	---
<i>Lucilia sp.</i>	---	0,01
<i>Microbriza poaemorpha</i>	0,05	---
<i>Microchloa indica</i>	---	0,21
<i>Micropsis spathulata</i>	0,01	---
<i>Mitracarpus sp.</i>	---	0,18
<i>Oxalis sp.</i>	0,01	0,05
<i>Panicum hians</i>	0,40	---
<i>Panicum sabulorum</i>	0,23	---
<i>Paspalum dilatatum</i>	1,16	---
<i>Paspalum notatum</i>	<b>20,83</b>	<b>6,33</b>
<i>Paspalum plicatulum</i>	0,21	---
<i>Paspalum pumillum</i>	<b>5,33</b>	---
<i>Pfaffia gnaphalioides</i>	---	---
<i>Pfaffia tuberosa</i>	---	0,01
<i>Phaselis retusa</i>	---	---
<i>Piptochaetium montevidense</i>	<b>9,50</b>	<b>7,00</b>
<i>Plantago myosurus</i>	0,05	---
<i>Plantago tomentosa</i>	0,05	---
<i>Poligala australis</i>	0,03	---
<i>Psidium luridum</i>	0,01	---
<i>Relbunium richardianum</i>	0,01	---
<i>Rhynchosia sp.</i>	---	0,01
<i>Rhynchospora luzulifolia</i>	0,01	---
<i>Richardia humistrata</i>	<b>13,6</b>	<b>8,33</b>
<i>Richardia stellaris</i>	0,20	0,85
<i>Schyzachyrium imberbe</i>	---	0,16
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	0,05	0,03

<i>Schizachyrium spicatum</i>	0,03	2,85
<i>Schizachyrium tenerum</i>	2,66	0,83
<i>Scoparia montevidensis</i>	0,03	0,03
<i>Scutellaria racemosa</i>	0,01	---
<i>Sellaginella sellowii</i>	---	0,03
<i>Senecio selloi</i>	0,01	---
<i>Setaria geniculata</i>	---	0,01
<i>Soliva pterosperma</i>	0,03	---
<i>Sommerfeltia spinulosa</i>	---	0,05
<i>Stenachaenium campestre</i>	0,16	---
<i>Stenadium sp.</i>	0,01	0,01
<i>Stipa pauciciliata</i>	0,03	---
<i>Stylosanthes montevidensis</i>	---	0,05
<i>Sysirriunchium sp.</i>	0,01	---
<i>Trachypogon montufari</i>	---	<b>16,66</b>
<i>Trifolium polymorphum</i>	0,05	---
<i>Turnera sidoides</i>	---	0,03
<i>Verbena montevidensis</i>	---	---
<i>Vernonia flexuosa</i>	0,01	---
<i>Vulpia sp.</i>	0,20	0,06
<i>Whalembergia linarioides</i>	---	---

**Anexo 2.** Altura, biomasa inicial ( $t_0$ ; promedio  $\pm$  desvío estándar) y porcentaje de biomasa verde medidas al inicio de cada estación en los cuadrantes externos a las jaulas de exclusión en las dos unidades de pastizal de las Sierras del Este, Uruguay.

Fecha	Pastizal	Biomasa inicial (g)	Biomasa verde (%)	Altura (cm)
25/06/2011	abierto	111,2 $\pm$ 43,2	31,7	2,1 $\pm$ 0,5
25/06/2011	denso	203,8 $\pm$ 56,9	34,4	1,7 $\pm$ 0,5
16/09/2011	abierto	50,5 $\pm$ 14,3	52,7	1,6 $\pm$ 0,3
16/09/2011	denso	100,1 $\pm$ 30,8	48,2	1,7 $\pm$ 0,5
20/12/2011	abierto	64,2 $\pm$ 21,6	61,9	3,9 $\pm$ 0,6
20/12/2011	denso	114,3 $\pm$ 46,1	64,2	4,1 $\pm$ 0,5
22/03/2012	abierto	143,5 $\pm$ 53,7	70,6	4,3 $\pm$ 0,9
22/03/2012	denso	155,0 $\pm$ 58,3	76	4,0 $\pm$ 0,5