

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA
NETA AÉREA DE CAMPOS NATURALES SOBRE SUELOS
PROFUNDOS DE BASALTO**

por

Patricia Cecilia BASILE LORENZO

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magister en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Vegetales

MONTEVIDEO
URUGUAY
Marzo 2018

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. (Dr.) Pablo Boggiano, Ing. Agr. (MSc.) Andrea Ruggia, y Lic. (Dra.) Alice Altesor, el 22 de marzo de 2018. Autora: Ing. Agr. Patricia Basile Lorenzo. Director: Ing. Agr. PhD. Oscar Blumetto, Co-director: Ing Agr. Daniel Formoso.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y en especial a la Ing. Agr. Mónica Rebuffo por darme la posibilidad de realizar la maestría.

A Saulo Díaz, Juan Antúnez, Alfonso Albornoz y demás funcionarios de INIA Tacuarembó por su colaboración en las actividades de campo.

A Guadalupe Tiscornia, por su colaboración en el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales.

A Silvia López, Alejandro Acosta, Flia. Escobal y Flia. Laxalde por permitirme realizar la tesis en sus establecimientos.

A mis tutores Oscar Blumetto y Daniel Formoso por trasmitirme sus conocimientos y ayudarme en todo el proceso.

A mi familia por apoyarme y acompañarme siempre.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. CONTEXTO ECOSISTÉMICO REGIONAL	1
1.1.1. <u>Situación e importancia</u>	1
1.1.2. <u>Características de la región cuesta basáltica</u>	2
1.1.3. <u>Consideraciones generales de los pastizales naturales sobre Basalto</u>	3
1.2. LAS COMUNIDADES DE ESPECIES HERBÁCEAS	4
1.2.3. <u>Efectos del pastoreo en la vegetación</u>	7
1.3. DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LAS PASTURAS	12
1.3.1. Determinación de la producción de forraje a partir de sensores remotos	12
1.4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	14
1.4.1. <u>Hipótesis</u>	14
1.4.2. <u>Objetivos</u>	14
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
2.1. ÁREA DE ESTUDIO	15
2.1.2. <u>Información meteorológica</u>	16
2.1.2.1. Temperatura y precipitaciones	16
2.2. MEDICIONES	17
2.2.1. <u>Producción primaria neta aérea y composición florística</u>	17
2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	18
2.3.1. <u>Composición florística</u>	18
2.3.2. <u>Producción primaria neta aérea</u>	19
2.3.3. <u>Determinación del coeficiente EUR</u>	20
3. <u>RESULTADOS</u>	21
3.1. COMPOSICIÓN FLORÍSTICA	21

3.1.1. <u>Relación Invernal/Estival</u>	21
3.1.2. <u>Índices de diversidad</u>	23
3.1.3. <u>Clasificación por grupos funcionales</u>	25
3.1.4. <u>Clasificación por tipo productivo</u>	30
3.2. PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA AÉREA	32
3.3. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE EUR.....	36
4. <u>DISCUSIÓN</u>	41
5. <u>CONCLUSIONES</u>	45
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	46
7. <u>ANEXOS</u>	57
Influencia del manejo ganadero en la producción primaria neta aérea y el coeficiente EUR de un pastizal natural sobre los suelos profundos de Basalto	57

RESUMEN

En Uruguay, la región basáltica es la región con mayor proporción de pastizales naturales del país. En estos pastizales, el manejo ganadero aplicado tradicionalmente está asociado a pastoreos intensos, con altas cargas, altas relaciones lanar/vacuno, y pastoreo con cargas continuas. Este manejo ganadero sería la principal causa de la degradación de los pastizales naturales que en los suelos profundos se traduciría en una disminución en la productividad de la pastura a través de la disminución de la abundancia de las especies de mayor calidad forrajera. La realización de un manejo del pastoreo que ajuste la carga animal e implique una menor intensidad de defoliación, podría llegar a evitar el proceso de degradación del campo natural y revertirlo en sitios sobrepastoreados.

Este trabajo tuvo como objetivos caracterizar la composición florística, determinar la producción de biomasa aérea obtenida mediante cortes y estimar el coeficiente de eficiencia de uso de la radiación de la comunidad vegetal de suelos profundos en cinco predios de Basalto. En cada predio se aplicaron dos tratamientos uno llamado cambio de manejo con ajuste de carga y otro llamado carga controlada.

La producción de forraje se midió aplicando la técnica del rebrote y la composición florística se determinó a partir de la metodología de Braun-Blanquet modificada. El coeficiente de eficiencia de uso de la radiación (EUR) se estimó a partir de la ecuación de Monteith. Se registraron cambios en la composición florística, PPNA y en el coeficiente EUR a lo largo del estudio en los dos tratamientos que estuvieron asociados principalmente a las precipitaciones y temperaturas por encima de la media anual que se registraron durante el período evaluado. Dado que no se mantuvo un tratamiento con manejo del pastoreo intenso a modo de testigo no fue posible realizar comparaciones entre los tratamientos. Trabajos posteriores son fundamentales para demostrar la importancia de realizar un manejo del pastoreo controlado.

Palabras clave: campo natural, manejo ganadero, EUR.

SUMMARY

Floristic Composition and Above-ground Net Primary Production in Natural Grasslands of Basaltic deep Soils

In Uruguay, the Basaltic region has the highest proportion of natural grasslands of the country. In these grasslands, livestock management is applied traditionally associated with intense grazing, with high stocking rates, high sheep/cattle relations, and continuous stocking. This livestock management is one of the main causes of degradation of natural grasslands. In the Basaltic deep soils it results in the loss of the best species and implies a decrease in the productivity. However, with a controlled grazing method that adjusts grazing time and intensity of defoliation it's possible to avoid the degradation of the natural grasslands and reverse it in overgrazed sites. This work aimed to determine the effect of contrasting grazing managements on floristic composition, above-ground primary production and radiation use efficiency (RUE) of plant communities of Basaltic deep soils.

The study was conducted on five livestock farms situated in the Basaltic region on the northeastern of Uruguay. In each, two treatments were applied, one called change of management with stocking rate adjustment and another called controlled stocking rate. Data were taken between spring 2013 and summer 2015. Forage production was estimated using the technique of regrowth, the floristic composition was determined from the Braun-Blanquet. And the RUE coefficient was estimated from the equation of Monteith. There were changes in floristic composition, PPNA and in the RUE coefficient throughout the study in the two treatments that were associated mainly with precipitation and temperatures recorded during the study. It wasn't possible to make comparisons between the treatments because there were no control treatment. Subsequent work is essential to demonstrate the importance of carrying out controlled grazing.

Keywords: grassland productivity, livestock management, RUE

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO ECOSISTÉMICO REGIONAL

1.1.1. Situación e importancia

El Uruguay está comprendido en la región de pastizales sub húmedos de América del Sur, una de las regiones de pastizales determinados climáticamente más grandes del mundo (Soriano, 1991). A escala nacional se distinguen cuatro regiones geomorfológicas que pueden ser identificadas como grandes unidades de vegetación (Rosengurt, 1944). Según Panario (1988), las cuatro regiones geomorfológicas en las que se divide el país son: la Cuesta Basáltica, Centro-Sur, Sierras del Este y Cuenca Sedimentaria del Noreste.

El campo natural es la base de la ganadería bovina y ovina desde hace 400 años cuando se introdujeron los primeros vacunos. Se define como “una cobertura vegetal formada por gramíneas, plantas herbáceas y sub arbustivas donde los árboles son raros” (Berretta, 1998). A nivel internacional, los pastizales se definen como una comunidad vegetal en la cual las especies leñosas no superan el 40% del total de la cobertura vegetal (UNESCO-UNEP-FAO citado por 't Mannetje y Jones, 2000). Los pastizales naturales cumplen varias funciones dentro del ecosistema como por ejemplo proteger la parte más superficial del suelo del efecto del pisoteo animal y de la erosión hídrica y eólica, impedir las oscilaciones de temperatura del suelo y como sustento nutritivo de herbívoros (Milot et al., 1987). Esas funciones son servicios ecosistémicos, es decir beneficios que obtienen los individuos y la sociedad del funcionamiento de estos ecosistemas. Los servicios ecosistémicos provistos se dividen en cuatro categorías: servicios de aprovisionamiento (agua potable, alimentos, fibras y combustibles), servicios de regulación (calidad del agua, clima, enfermedades), servicios culturales (recreación, paisajes, educación) y servicios de soporte (formación y protección del suelo, procesos de producción primaria, ciclos

biogeoquímicos) (Gibson, 2009, Altesor, 2011, Lemaire et al., 2011). Desde ya hace algunos años el avance de la agricultura y la forestación en la región ha provocado una disminución del área bajo campo natural representando un 64,3% de la superficie explotada en 2011 con respecto a un 71,1% en el año 2000 (Censo General Agropecuario, 2000 y 2011). Sin embargo existen regiones como la Cuesta basáltica en las que la "agriculturización" según Paruelo et al., (2006) no ha llegado gracias a la limitante que presenta la profundidad de los suelos.

1.1.2. Características de la región cuesta basáltica

La región basáltica ocupa alrededor de 4 millones de hectáreas, un 21% del territorio nacional y está formada por la fracturación cretácica del zócalo cristalino que provocó el ascenso de masas de lava a la superficie, que luego de sufrir una oscilación obtuvo un aspecto de cuesta con una pendiente general hacia el oeste y un frente abrupto hacia el este (Durán y García Préchac, 2007). Según Bossi y Navarro (1988) está compuesta por las formaciones Arapey (basaltos toleíticos) y Puerto Gómez (basaltos espiliticos). Se extiende desde el Río Cuareim al Río Negro y de la Cuchilla de Haedo al Río Uruguay y abarca los departamentos de Artigas, Durazno, Paysandú, Rivera, Tacuarembó y Salto. El relieve es de planicies, ondulaciones y pequeñas colinas que varían entre 20 y 300m de altura sobre el nivel del mar con pendientes máximas de más de 12% (Berretta, 1998). Según Durán y Préchac, 2007, la región basáltica tiene una dominancia de suelos fértiles muy superficiales al este de la Cuchilla de Haedo y suelos profundos al oeste con un patrón local muy intrincado. Las principales unidades de suelo que se encuentran en esta región son Cuchilla de Haedo-Paso de los Toros (1.011.523 ha) y Queguay Chico (634.158 ha) con predominancia de suelos superficiales y Cuaró (87.992 ha) e Itapebí-Tres Arboles (1.256.516 ha) con predominancia de suelos profundos (Carta de Reconocimiento del Uruguay, MAP, 1979). Los suelos superficiales rojos y negros y los suelos profundos asociados a valles y laderas suaves se encuentran mezclados en diferentes proporciones en todas las unidades (Millot et al., 1987).

1.1.3. Consideraciones generales de los pastizales naturales sobre Basalto

En la región basáltica, las especies que se encuentran en el campo natural dependen del tipo de suelo y sobre todo de la profundidad del suelo (Berretta, 2005). Los suelos superficiales rojos, con un 70% de cobertura del suelo, tienen como especies más frecuentes a *Schizachyrium spicatum* (Spreng.) Herter, *Chloris grandiflora* Roseng. & Izag., *Eragrostis neesii* Trin., *Eustachys bahiensis* (Steud.) Herter, *Microchloa indica* (L.f) P. Beauv., *Bouteloua megapotamica* (Spreng.) Kuntze, *Aristida venustula* Arechav., *Dichondra microcalyx* (Hallier f.) Fabris, *Oxalis sp.* y *Sellaginella sp.* entre otras. En los suelos superficiales negros, donde el porcentaje de cobertura del suelo y la profundidad es mayor que en los superficiales rojos (80% de cobertura del suelo y horizonte A de 15-20cm), las especies más frecuentes son: *Schizachyrium spicatum*, *Chloris grandiflora*, *Eustachys bahiensis*, *Aristida murina* Cav., *Aristida uruguayensis* Henrard., *Dichondra microcalyx*, *Oxalis sp.* y *Nostoc sp.* También se encuentran, pero con menor frecuencia, *Stipa setigera* J. Presl., *Piptochaetium stipoides* (Trin. & Ruper.) Hack. & Arechav., *Bothriochloa laguroides* (DC.) Herter, *Paspalum plicatulum* Michx., *Coelorachis selloana* (Hack) y *Adesmia bicolor* (Poir.) DC (Berretta, 2005).

En los suelos profundos, la producción de forraje promedio anual es de 4576 kg MS.ha⁻¹ (en un rango de 3204 a 6646 kg MS.ha⁻¹) concentrándose en un 27 % en los meses de octubre y noviembre y un crecimiento reducido en los meses de invierno (Berretta et al., 2001). Sin embargo, la tasa de crecimiento diaria estival tiene una gran variabilidad asociada a las condiciones climáticas de esa estación. Las especies más frecuentes en los suelos profundos son: *Paspalum plicatulum*, *Paspalum dilatatum* Poir., *Coelorachis selloana*, *Andropogon ternatus* (Spreng.) Nees, *Bothriochloa laguroides*, *Axonopus fissifolius* (Raddi) Kuhlman, *Aristida uruguayensis*, *Schizachyrium spicatum*, *Adesmia bicolor*, *Stipa setigera*, *Poa lanígera* Nees., *Piptochaetium stipoides* y *Trifolium polymorphum* Poir. (Berretta, 2005). En estos suelos, en los que conviven especies finas y tiernas con duras y ordinarias, el pastoreo recomendado por Rosengurt (1979) para favorecer las especies finas invernales y evitar el endurecimiento de las especies estivales sería

intenso y frecuente en verano y alivio en otoño para permitir rebrote y a fines de invierno para favorecer floración y semillazón de especies finas invernales.

1.2. LAS COMUNIDADES DE ESPECIES HERBÁCEAS

En los pastizales naturales las especies vegetales no se distribuyen al azar, lo hacen en función de factores bióticos como procesos demográficos (nacimientos y muertes), presencia de herbívoros y factores abióticos como características del suelo, condiciones climáticas y manejo agronómico (Urban et al., 1987, Perelman et al., 2001). Esto implica que se encuentren distintas agrupaciones de especies en sitios con diferente topografía, tipo de suelo o manejo agronómico que se vuelven a repetir en otros sitios en los que se mantienen estas características. Según Odum 1971, los conjuntos de especies que están presentes en ambientes similares se denominan comunidades vegetales. Son tipos de vegetación que se reconocen a partir de su composición florística. A su vez, se denominan “Parches” las unidades de vegetación que tienen homogeneidad estructural y ambiental y que son utilizadas para describir las comunidades (Lezama et al., 2006). Por lo tanto, cada comunidad vegetal debe ser manejada por separado ya que difieren en su producción (estacional y total) y calidad de la materia seca y en su vulnerabilidad frente al pastoreo.

Las comunidades vegetales tienen especies que pueden usarse como indicadoras, llamadas de diagnóstico, que sirven para reconocerlas y determinar las relaciones entre las distintas especies que las componen (Alcaraz, 2010). Sin embargo, para poder hacer un manejo diferencial es fundamental no solo identificar las especies dominantes de cada comunidad sino tener un conocimiento profundo de cada una de las especies que la componen (Perelman et al., 2001).

Existen varias metodologías para delimitar comunidades vegetales. La fitosociología, una sub disciplina de la ecología, permite comparar e identificar comunidades vegetales sobre la base de observaciones a campo a partir de análisis de gradientes y otros análisis multivariados (Ewald, 2003). Se trata de un estudio cuantitativo de la estructura de la vegetación que tiene como objetivo describir,

explorar y predecir el tipo de vegetación y clasificarla (Odum, 1971). Una de las metodologías empleadas permite analizar la comunidad según su composición florística, utilizando la abundancia y cobertura medida a partir del método de Braun-Blanquet (1964) (Alcaraz, 2010, Odum, 1971). Según Alcaraz 2010, para determinar y caracterizar una comunidad vegetal es necesario muestrear un área mínima en la cual se pueda encontrar una representación apropiada de la comunidad. Para el caso de los tipos de vegetación herbácea, como los pastizales del Río de la Plata, se recomienda una superficie mínima de muestreo de 16 m² con la cual se registra el 80% de las especies presentes (Olmos, 1990, Chytrý y Otýpková, 2003).

Lezama, en 2005, delimitó en la región Basáltica seis comunidades vegetales incluidas en tres unidades de vegetación que se agrupan por la disponibilidad de agua determinada por la profundidad del suelo (Tabla 1). La unidad A está compuesta de pastizales de meso-xerófitas e incluye dos comunidades ubicadas en laderas de colinas y lomadas fuertes. La unidad B incluye estepas de litófitas con una sola comunidad ubicada en sitios planos de exportación de materiales en posiciones altas y medias. Por último, la unidad C de meso hidrófitas está compuesta de tres comunidades asociadas a laderas plano cóncavas y valles de interfluvios. Las comunidades incluidas en la unidad A y B están asociadas a los suelos superficiales y las incluidas en la unidad C a los suelos profundos. Por lo tanto, en un mismo potrero existen diferentes comunidades vegetales determinadas por la variación en la profundidad del suelo.

Tabla 1: Comunidades vegetales de los suelos de Basalto

Unidades de vegetación	Comunidad	Especies Indicadoras	Especies con alto valor indicador
A	A1	<i>Melica rigida</i> <i>Botriochloa laguroides</i>	<i>Baccharis coridifolia</i> <i>Wahlenbergia linarioides</i>
	A2	<i>Aristida venustula</i> <i>Chevreulia sarmentosa</i>	<i>Chloris grandiflora</i> <i>Euphorbia serpens</i>
B	B	<i>Hordeum pusillum</i> <i>Selaginella sellowii</i>	<i>Bulbostylis sp.</i>
C	C1	<i>Stipa charruana</i> <i>Kyllinga odorata</i> <i>Calotheca brizoides</i>	
	C2	<i>Juncus imbricatus</i> <i>Juncus dombeyanus</i> <i>Notoscordum sp.</i> <i>Eleocharis dunensis</i> <i>Hydrocotyle sp.</i>	<i>Rhynchospora luzuliformis</i> <i>Eryngium echinatum</i>
	C3	<i>Stipa neesiana</i> <i>Baccharis trimera</i> <i>Adesmia bicolor</i> <i>Poa lanigera</i> <i>Botriochloa imperatoides</i> <i>Andropogon lateralis</i> <i>Briza subaristata</i> <i>Bromus auleticus</i>	

Fuente: Elaborado en base a Lezama, 2005.

1.2.3. Efectos del pastoreo en la vegetación

El manejo del pastoreo a través del manejo de la carga y de la relación lanar-vacuno es uno de los factores que provoca los principales cambios en la comunidad florística modificando su estructura, a través de cambios en la diversidad y composición de especies (Briske, 1991, Rodríguez et al., 2003, Berretta, 2005, Cingolani et al., 2005, Soares et al., 2011), así como modificaciones en la producción primaria neta (McNaughton, 1983, Altessor et al., 2005). Estas modificaciones en la estructura son adaptaciones de las plantas frente a la defoliación que les permite reducir la pérdida de área foliar a través de cambios en el tamaño y densidad de macollos (Briske, 1991, Gastal et al., 2004). De esta forma, las plantas se vuelven más postradas para lograr escapar al pastoreo lo que implica que exista una acumulación del forraje en los primeros centímetros del suelo. Otras especies, evitan ser defoliadas a través de defensas físicas (espinas) o compuestos tóxicos como *Baccharis coridifolia* DC., *Melica macra* Nees. o *Eryngium horridum* Malm. (Briske, 1991, Díaz et al., 1992).

El pastoreo genera cambios en la composición florística del campo natural promoviendo la presencia de determinadas especies tolerantes al pastoreo en detrimento de otras más susceptibles (Noy-meir et al., 1989). Existen varios modelos conceptuales que predicen el impacto del pastoreo en la vegetación. Estos modelos se basan en la teoría clásica de la sucesión (Dyksterhuis 1949), en la precipitación y la historia del pastoreo (Milchunas et al., 1988), en la teoría de estados y transiciones de la vegetación (Westoby et al., 1989) y en la productividad y la historia del pastoreo (Cingolani et al., 2005). El modelo de estados y transiciones de Westoby et al., (1989) describe la dinámica de los pastizales como un conjunto de estados de la vegetación separados por transiciones determinadas por eventos naturales (fuego, sequías) o por cambios relacionados con el manejo (modificaciones en la intensidad de pastoreo, introducción de especies, fertilización) y es el más aceptado actualmente.

De acuerdo con Milchunas et al., (1988), en pastizales con una larga historia de pastoreo el reemplazo de especies se da con especies nativas mejor adaptadas

mientras que en pastizales con corta historia de pastoreo el reemplazo se da con especies exóticas. Además, los ecosistemas que evolucionaron con altas presiones de herbívoros son más resilientes frente a pastoreos con altas cargas como consecuencia de la adaptación de la vegetación a esas condiciones según lo describen Cingolani et al., (2005). Por el contrario, en ecosistemas que evolucionaron con bajas presiones de herbívoros, el pastoreo aún con cargas bajas sumado a eventos climáticos extremos provoca cambios irreversibles en la vegetación.

En el caso de los pastizales del Río de la Plata, existen clasificaciones contradictorias ya que algunos autores consideran que el pastoreo tiene una historia reciente relacionada con la llegada de los españoles hace 400 años (Milchunas y Lauenroth, 1993) y otros que la historia evolutiva del pastoreo es larga dada por la presencia de herbívoros nativos (Díaz et al., 2007, Behling et al., 2009).

Por otro lado, el impacto de pastoreo sobre la estructura de la vegetación es mayor en ambientes altamente productivos como es el caso de los pastizales del Río de la Plata (Milchunas et al., 1988, Milchunas y Lauenroth, 1993, Lezama et al., 2014). En este tipo de ambientes, el pastoreo provoca un aumento de la riqueza de especies de plantas dado principalmente por un incremento en las gramíneas estivales con crecimiento postrado (estoloníferas y rizomatosas), hierbas arrosetadas y arbustos (Sala et al., 1986, Milchunas et al., 1988, Olmos y Gordon, 1990, Maraschin et al., 1997, Altesor et al., 1998, Bullock et al., 2001, Rodríguez et al., 2003, Lezama et al., 2014). Este aumento de las especies estivales se da en detrimento de las especies invernales como *Stipa papposa* Nees. y *Piptochaetium bicolor* (Vahl) É. Desv. e implica que la producción de la pastura se concentre en los meses de verano. Por otro lado, en sitios donde se excluyó el pastoreo por más de tres años el tapiz es dominado por gramíneas C3 y C4 de porte erecto y arbustos (Rodríguez et al., 2003, Altesor et al., 2005). En otros ambientes, la respuesta al pastoreo está dada principalmente por un aumento de las especies rastreras anuales y una disminución de las gramíneas de alto porte (Noy-meir et al., 1989, Fernandez Alés et al., 1993).

El efecto del pastoreo en la vegetación no está dado solamente por el hecho de la herbivoría en sí, sino también por la intensidad y la frecuencia con la cual se realiza el pastoreo. Pastoreos intensos y frecuentes determinan un aumento de las hierbas enanas, gramíneas rastreras y suelo desnudo en detrimento de las especies perennes (Milot et al., 1987, McIntyre y Lavorel, 2001, Ayala y Bermúdez, 2005, Berretta, 2005). Asimismo, los pastoreos intensos y frecuentes afectan de forma negativa la productividad primaria neta aérea (PPNA) de las pasturas. Esta reducción en la PPNA ha sido reportado por diversos autores tanto en pastizales de la región (Maraschin et al., 1997, Ayala y Bermúdez, 2005, Boggiano et al, 2005) como de otras regiones (Kelly y Walker, 1976, Ash et al., 1995, Illius y Connor, 1999, Wilson y Macleod, 1991).

Las degradaciones de los pastizales naturales son cambios regresivos que alteran ese equilibrio de manera temporal o permanente modificando el potencial productivo de la vegetación a través de cambios en la flora, la cobertura y condiciones del suelo y el estado de las especies que los conforman (Milot et al., 1987). De acuerdo con estos autores, el número total de especies que componen un pastizal, el suelo desnudo y la invasión de especies no palatables consideradas malezas son indicadores importantes de su degradación. Por lo tanto, un número importante de especies implicaría una mayor capacidad de respuesta del tapiz a cambios en el manejo cuando se lo compara con tapices compuestos por un número reducido de especies Sin embargo, estudios realizados por Grime (1998) y Smith y Knapp (2003) aseguran que la respuesta en productividad de las comunidades herbáceas frente a disturbios generados por sequías o cambios en el manejo del pastoreo dependen de la características funcionales de las especies dominantes y subdominantes y no del número total de especies que componen la comunidad. El sobrepastoreo es una de las causas principales de degradación del campo natural y de la pérdida de producción animal (Wilson y Macleod, 1991). Está asociado al manejo ganadero que se ha venido aplicando en forma tradicional con pastoreos intensos, con altas cargas, altas relaciones lanar/vacuno, con períodos prolongados de ocupación y pastoreo continuo o con períodos cortos de descanso (Milot et al., 1987). En general, en situaciones de sobrepastoreo extremo existe un reemplazo de

especies productivas principalmente cespitosas invernales por especies de baja calidad forrajera (Jaurena, 2009).

Según Rosengurtt (1946) el recargo abusivo de los campos provoca la degeneración pratense que se caracteriza por la pérdida de vigor, altura, densidad y vitalidad de la vegetación útil. Este proceso implica además la disminución de la aptitud nutritiva del suelo y la sustitución de especies productivas por improductivas (Millot et al., 1987). Se consideran especies degenerantes a todas las especies que podrían ser sustituidas ventajosamente por otras que tengan una mayor adaptación a las condiciones ecológicas y pastoriles de una pastura determinada (Rosengurtt, 1946). En los pastizales naturales de la región Basáltica, las mayores degradaciones por sobrepastoreo se observan en suelos superficiales ya que en invierno los animales castigan estas zonas buscando la predominancia de especies invernales (Millot et al., 1987). Según estos autores, en los suelos profundos, la degradación se evidencia por la presencia casi exclusiva de *Paspalum notatum* y *Axonopus fissifolius* junto con algunas hierbas enanas, dado por la pérdida de las especies de mayor calidad forrajera. Las pérdidas de eficiencia productiva de las pasturas naturales pueden llegar a ser mayores por subpastoreo que por sobrepastoreo (Millot et al., 1987). Esto está asociado al tamaño de los potreros, que generalmente en el Basalto son muy grandes, lo que implica que sean pastoreados de forma heterogénea aún con altas cargas. La heterogeneidad en el pastoreo determina una doble estructura del tapiz vegetal característica de un aprovechamiento deficiente con un estrato de pastos altos poco apetecidos como *Stipa charruana* Arechav. y un estrato bajo de especies palatables que son castigadas. En esta condición se mantienen en simultáneo especies tolerantes al sobrepastoreo como *Paspalum notatum* y *Axonopus fissifolius* y especies tolerantes al sub pastoreo como *Stipas*, *Paspalum dilatatum*, *Bromus*, etc. lo que permite que con cambios en el manejo exista una mayor eficiencia de utilización y una mejor estructura (Millot et al., 1987).

El sobrepastoreo también aumenta la susceptibilidad de la comunidad vegetal a la invasión de especies exóticas ya que el aumento del suelo desnudo permite que estas especies, más eficientes en el uso y aprovechamiento de los recursos, colonicen el espacio disponible (Davis et al., 2000).

Sin embargo, dada la gran plasticidad para la adaptación a distintos sistemas de producción y la gran estabilidad que tienen las especies nativas del campo natural, es posible recuperar la proporción de las especies cespitosas más productivas implementando exclusiones de pastoreo por periodos de 2 años con los que se obtiene un reemplazo del 60% de las mismas (Rodríguez et al., 2003, Altesor et al., 2006). La posibilidad de cambios en la composición y productividad de los tapices sobrepastoreados depende de varios factores como la fertilidad del suelo, las limitantes edáficas y climáticas para la vegetación, el estado actual de degradación, la presencia de especies deseables y el banco de semillas presente en el suelo (Millot, 1991). Este mismo autor señala que tanto la presencia de especies deseables en el banco de semilla del suelo son la memoria genética del ecosistema y por tanto se deben conservar para poder revertir situaciones de sobrepastoreo.

Rosengurtt (1946) propuso como recomendaciones para el manejo adecuado del campo natural realizar alivios del pastoreo a principios de otoño y primavera, evitar altas intensidades de pastoreo que destruyan brotaciones consecutivas y exterminen las matas y evitar alivios excesivos o inoportunos que impliquen pérdidas de forraje, endurecimiento y ensuciamiento del campo. Estas recomendaciones concuerdan con lo que Millot et al., (1987) describen bajo el nombre de “pastoreo controlado”.

Recientemente ha surgido la propuesta de agrupar las especies teniendo en cuenta un abordaje funcional para la interpretación de las estrategias de las plantas frente a disturbios como por ejemplo el pastoreo (Díaz y Cabido, 1997). Esta propuesta está basada en la idea de que para establecer modelos predictivos del funcionamiento de las comunidades vegetales ya no es conveniente realizar descripciones de la vegetación a través de la composición florística e identificación individual de las especies (Sosinsky y Pillar, 2004, Cruz et al., 2010).

Los grupos funcionales son conjuntos de plantas que tienen respuestas similares frente a determinadas condiciones ambientales y efectos similares en los procesos ecosistémicos dominantes (Walker, 1992) y son definidos en base a características morfológicas o fisiológicas que sean medibles (Quadros et al., 2009). Estos grupos funcionales son de utilidad para el diagnóstico y manejo de comunidades vegetales

(Cruz et al., 2010). Existen grupos funcionales definidos en base a características morfológicas como los tipos vegetativos de Rosengurt (1979) o como el ciclo de vida de las especies (Lavorel et al., 1997). Las características morfológicas son difíciles de medir por lo que McIntyre y Lavorel (2001) recomiendan el uso de atributos funcionales para el agrupamiento de las especies. En este sentido se han generado grupos funcionales en base a características morfológicas y funcionales de fácil medición como el área foliar específica (AFE) o el porcentaje de materia seca de las hojas (Sosinsky y Pillar, 2004, Cruz et al., 2010).

1.3. DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LAS PASTURAS

En predios ganaderos, conocer la productividad de la pastura que se maneja es fundamental para poder establecer la carga animal adecuada. Tradicionalmente la producción de las pasturas se ha determinado a partir de cortes de biomasa, metodología que tiene ciertas limitaciones para el uso extensivo, dada la cantidad de muestras a tomar para poder cubrir la heterogeneidad espacial y estacional que tienen las pasturas naturales (Grigera et al., 2007, Buono et al., 2010). La productividad primaria neta aérea (PPNA) es la cantidad de materia seca acumulada en un periodo de tiempo y unidad de superficie. Hoy en día es posible determinar la PPNA de meses y años anteriores a partir de imágenes satelitales provistas por sensores remotos.

1.3.1. Determinación de la producción de forraje a partir de sensores remotos

Monteith, en 1972, definió a la PPNA como determinada por la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) que es la eficiencia con la que la energía es transformada en materia seca multiplicada por la radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAA) que es la fracción de la radiación que absorben las plantas.

$$PPNA \text{ (kg MS.mes}^{-1}\text{.ha}^{-1}\text{)} = RFAA \text{ (MJ.mes}^{-1}\text{.ha}^{-1}\text{)}.EUR \text{ (kg MS.MJ}^{-1}\text{)}$$

Los sensores remotos Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ubicados a bordo de los satélites de la NASA Terra y Aqua, adquieren datos de bandas espectrales que permiten calcular índices que se utilizan para monitorear el estado de la vegetación. Uno de esos índices es el índice verde normalizado (IVN) que es la relación entre la radiación de longitudes de onda correspondientes al rojo (absorbida por la clorofila) y la radiación de longitudes de onda correspondientes al infrarrojo cercano (reflejada por la vegetación)(Paruelo, 2008).

$$IVN = (\rho_{ir} - \rho_r) / (\rho_r + \rho_{ir})$$

El IVN se obtiene bajo la forma de una imagen compuesta cada 16 días, con cuatro resoluciones espaciales. La de mayor resolución tiene un tamaño de pixel de 5,3 ha. El IVN está directamente relacionado con la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (fRFAA)(Piñeiro et al., 2006). De esta forma, teniendo los datos del IVN y estimando el valor de la EUR y la RFAA obtenida de una estación meteorológica, es posible obtener el valor de la PPNA para un sitio determinado aplicando la ecuación de Monteith (1972).

Esta metodología, permite describir la dinámica de la producción de forraje y su variación intra e interanual con lo que se puede lograr una planificación forrajera predial más adecuada a los recursos de cada predio. Además, permite abarcar áreas más grandes y lograr con facilidad mediciones repetidas en el tiempo de un mismo lugar (Roderick et al., 2000). Según Grigera et al., 2007, el uso de sensores remotos podría tener implicancias en la sustentabilidad de los predios ganaderos al permitir el cálculo de la capacidad de carga animal y/o la probabilidad con la que la producción de forraje sea suficiente para cubrir los requerimientos de determinados niveles de carga animal. Asimismo, es posible detectar cambios en el funcionamiento de los ecosistemas y realizar un seguimiento de áreas degradadas para poder tomar decisiones sobre su manejo (Eve et al., 1999).

Estudios realizados por Soca et al., 2011 en donde se comparó la PPNA medida a campo a partir de cortes de biomasa y la obtenida a partir de sensores remotos muestran que los sensores remotos sobre-estimarían la PPNA. En las

estimaciones de PPNA a partir de la información de satélites MODIS se utiliza un solo valor de EUR para cada sitio por lo que errores en la estimación de este coeficiente a través podrían afectar su valor predictivo (Oesterherld et al., 2011). Estudios realizados por Nouvellon et al., (2000) y Bradford et al., (2005) revelan que el EUR es afectado por el tipo de vegetación y por la condiciones ambientales principalmente la cantidad de agua disponible de forma positiva y temperatura de forma negativa.

A pesar de que se trata de una metodología muy novedosa para determinar la productividad de los pastizales, es fundamental contar con valores de EUR ajustados a los pastizales naturales de la región para mejorar su implementación.

1.4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.4.1. Hipótesis

- a) La disminución de la intensidad de pastoreo permitiría aumentar la productividad de la comunidad vegetal de suelos profundos de Basalto.
- b) La disminución de la intensidad de pastoreo permitiría aumentar la proporción de especies de mayor valor forrajero del campo natural a través de un aumento en la proporción de especies cespitosas de ciclo C3.
- c) El coeficiente EUR es afectado por la intensidad del pastoreo a través de cambios en la composición florística.

1.4.2. Objetivos

- a) Evaluar el efecto de la disminución de la intensidad de pastoreo en la producción de forraje de la comunidad vegetal de suelos profundos de Basalto.
- b) Caracterizar la composición florística de la comunidad vegetal de suelos profundos de Basalto con niveles contrastantes de carga animal.
- c) Evaluar el efecto de la intensidad de pastoreo en el coeficiente EUR de la comunidad vegetal de suelos profundos de Basalto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó sobre cinco predios de productores ganaderos pertenecientes a dos proyectos de INIA cuya producción se basa en el campo natural entre la primavera del año 2013 y el verano del año 2015. Están ubicados en los departamentos de Tacuarembó y Salto, sobre la región geomorfológica Cuesta Basáltica (Panario, 1988) y se encuentran sobre la unidad Cuchilla de Haedo-Paso de los Toros de la Carta de reconocimiento de suelos escala 1:1.000.000 (MAP, 1979) que tiene como suelos dominantes Litosoles éutricos/subéutricos melánicos y como suelos asociados Litosoles éutricos melánicos y Brunosoles éutricos típicos.

Tabla 2. Principales características de los predios.

Predio	Coordenadas geográficas	Superficie (ha)	Sistema de producción	Carga(UG/ha)*	Grupo de suelos C.O.N.E.A.T
A	31°39'21.91" S/ 56°31'39.50" O	462	Ciclo completo (vacunos y ovinos)	0,64	1.20
B	32°35'20.69" S/ 56°07'21.75" O	2200	Ciclo completo (vacunos y ovinos)	0,79	1.10b
C	31°20'39.34" S/ 56°34'22.94" O	174	Cría (vacunos y ovinos)	1	1.10b
D	31°15'08.80" S/ 56°28'21.00" O	441	Cría (vacunos y ovinos)	0,55	1.10b
E	31°37'34.52" S/ 56°27'04.15" O	1200	Ciclo completo (vacunos y ovinos)	0,75	1.21

*Carga animal total del predio durante primavera 2013.

En cada predio y considerando la opinión de los productores, se eligieron dos potreros que tuvieran una historia de manejo ganadero contrastante, uno llamado cambio de manejo con ajuste de carga (AC) con una historia de pastoreo continuo y carga animal de 1-1,1 UG/ha y otro llamado carga controlada (CC) con una historia

de pastoreo continuo con carga animal de 0,69-0,8UG/ha. La carga en todos los casos fue estimada por los respectivos productores en base a dotaciones y categorías. Durante el estudio, a los potreros llamados AC se les realizó un cambio en el manejo del pastoreo que implicó una disminución en la carga animal a 0,8 UG/ha mientras que a los potreros llamados CC se les mantuvo el manejo del pastoreo que tenían.

La unidad de estudio fue la comunidad vegetal de suelos profundos (Lezama et al., 2006) dentro de cada potrero (Lezama et al., 2006).

2.1.2. Información meteorológica

2.1.2.1. Temperatura y precipitaciones

La región presenta un temperatura media anual de 19,4 °C con una media de 25,2 °C en verano y 13,6 °C en invierno (INIA, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2009). Durante el período del estudio (primavera 2013-verano 2015) la evolución de la temperatura fue similar a la media estacional para el período 1980-2009 con una media anual de 20,3 °C (INIA, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria).

En cuanto a las precipitaciones, el acumulado del período primavera 2013-verano 2015 fue superior al promedio acumulado anual para la región (1992 mm vs 1339 mm)(INIA, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). A nivel estacional, los mayores registros pluviométricos se registraron en la primavera 2013 (388 mm) y el verano 2015 (423 mm) (Figura 1).

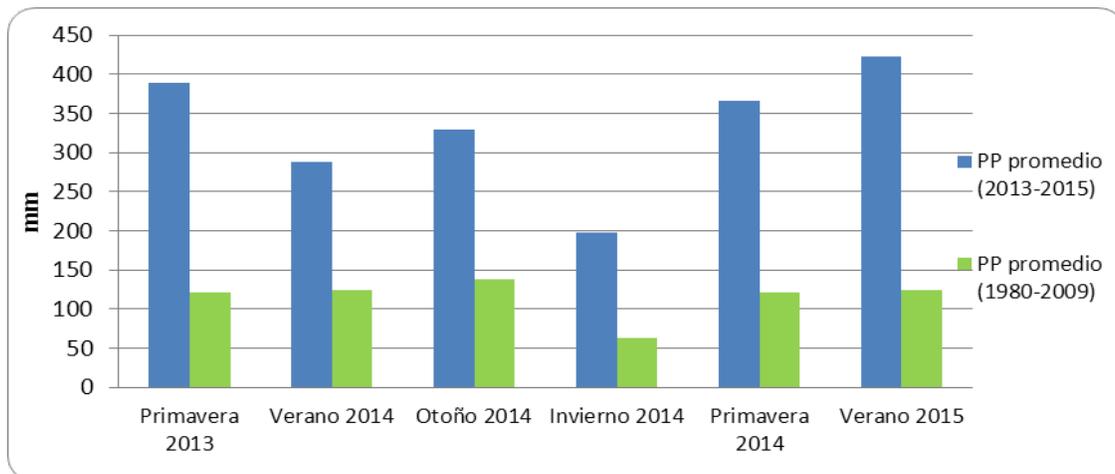


Figura 1. Precipitaciones promedio estacionales del período evaluado (primavera 2013-verano 2015) y promedio histórico de precipitaciones para la región Cuesta Basáltica (1980-2009). Fuente: elaborado en base a INIA, 2018.

2.2. MEDICIONES

2.2.1. Producción primaria neta aérea y composición florística

El crecimiento de la pastura se determinó mediante la técnica del rebrote utilizando tres jaulas móviles de 1 m² por potrero, instaladas con homogenización previa de la vegetación a 1cm de altura. La cosecha del rebrote se realizó cada 45-55 días en dos cuadros de 0,5 x 0,2 m con tijeras de esquilar y dejando una altura de remanente de 1 cm (Gardner, 1986). Luego de cosechado, el material vegetal se secó en una estufa de aire forzado a 60°C durante 48 horas. Previo al corte de biomasa se tomaron los datos de altura promedio de la pastura en 5 puntos dentro de cada jaula. En el total del período del estudio se realizaron 400 muestreos.

La composición florística se estimó mediante la cobertura/abundancia de las especies utilizando la escala de Braun-Blanquet modificada por Lezama et al., (2006). En el caso de las Ciperáceas no se llegó al nivel especie por lo que las determinaciones se realizaron a nivel de familia. Los registros se realizaron en un cuadro de 1 m² dentro de la jaula cada vez que se realizaron cortes para determinar

crecimiento y en cinco cuadros de tamaño similar fuera de la jaula en otoño y primavera para considerar posibles cambios estacionales. Por lo tanto, en cada estación se muestrearon 8m² por potrero.

2.2.2. Estimación del coeficiente de eficiencia de uso de la radiación (EUR)

El coeficiente EUR se estimó a partir de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación (RFAA) y la PPNA obtenida de los cortes de biomasa siguiendo la ecuación de Monteith (1972):

$$EUR = \frac{PPNA}{RFAA \times 10}$$

La RFAA se calculó como producto de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por las plantas (fRFA) obtenida a partir de imágenes sintéticas de índice de vegetación mejorado (resolución espacial 250 x 250 m, U.S Geological Survey) y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) calculada a partir de la radiación relevada en las estaciones agroclimáticas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Se utilizó la siguiente ecuación:

$$RFAA = fRFA \times RFA$$

2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

2.3.1. Composición florística

En primer lugar, los datos de composición florística a nivel de especie fueron estandarizados y agrupados en grupos funcionales (Lavorel et al, 1997) y de acuerdo a la clasificación de tipos productivos de Rosengurtt (1946). La clasificación de Rosengurtt (1946) agrupa las especies en finas, tiernas, ordinarias, duras, tiernas-finas, tiernas-ordinarias, ordinarias-duras, malezas enanas, malezas menores y malezas de campo sucio. En el caso de la agrupación por grupos funcionales las especies se agruparon en gramíneas C4, gramíneas C3, hierbas enanas, sub arbustivas, leguminosas y graminoides. Luego, fueron analizados con técnicas de

ordenación multivariada realizando análisis de componentes principales para analizar la variabilidad entre mediciones e identificar asociaciones entre los grupos funcionales (Hotelling, 1933). La especie *Nostoc sp.* y la briófito Musgo no se tuvieron en cuenta en las agrupaciones por tipo productivo y grupos funcionales por no realizar un aporte relevante a la disponibilidad de forraje. Los índices de diversidad Simpson y Shannon-Wiener (Moreno, 2001) y la riqueza de especies fueron calculados para cada predio y tratamiento. Para el cálculo de estos índices se seleccionó un intervalo de confianza de 0,95 y se realizaron 500 muestreos Bootstrap.

Además, se calculó la relación invernal/estival (I/E) para cada tratamiento y predio y se realizó un ANAVA para comparar la diferencia entre las medias de los tratamientos al inicio del estudio utilizando la prueba LSD de Fisher. También se realizaron ANAVA para comparar la diferencia entre las medias de la relación I/E al inicio y al final del estudio para cada tratamiento por separado utilizando la prueba LSD de Fisher.

2.3.2. Producción primaria neta aérea

A partir de los datos de producción primaria neta aérea se calcularon las tasas de crecimiento diarias promedio para cada predio y tratamiento. Las tasas de crecimiento se analizaron a partir de un ANAVA utilizando la prueba LSD de Fisher para comparar las diferencias entre las medias de los tratamientos al inicio del estudio. Luego se calcularon las tasas de crecimiento estacionales para cada tratamiento y se analizaron a través de un ANAVA utilizando la prueba LSD de Fisher para comparar el efecto de cada tratamiento por separado a lo largo del tiempo. También se calcularon las tasas de crecimiento diarias promedio al inicio (primavera 2013-verano 2014) y al final del estudio (primavera 2014-verano 2015) por separado y se realizó un ANAVA utilizando la prueba LSD de Fisher para comparar la diferencia entre las medias de los dos tratamientos en los dos momentos.

2.3.3. Determinación del coeficiente EUR

Los datos del coeficiente EUR obtenidos para el total del período evaluado y de todos los predios y tratamientos se agruparon según la estación y el año para poder evaluar la variabilidad estacional existente. Para esto, los datos fueron analizados a partir de un ANAVA para comparar la diferencia entre las medias para cada estación y año. Luego, se realizó un ANAVA para cada tratamiento por separado para comparar la diferencia entre las medias al inicio (primavera 2013-verano 2014) y al final del estudio (primavera 2014-verano 2015). Por último, a partir de los datos del coeficiente EUR obtenidos al inicio del estudio se realizó un ANAVA para comprar la diferencia entre las medias de los dos tratamientos. Para todas las comparaciones se utilizó la prueba LSD de Fisher.

Todos los análisis se realizaron a partir del software InfoStat (Di Rienzo et al., 2014).

3. RESULTADOS

3.1. COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Se registraron en el total del periodo evaluado y en los 10 potreros 157 especies diferentes de las cuales el 38% eran gramíneas, 8% leguminosas, 52% hierbas enanas y 3% especies arbustivas (Tabla 3). De las gramíneas, el 35 % eran especies de ciclo invernal y el 65% estivales.

Tabla 3. Número de especies registradas en todos los predios y tratamientos para el total del período evaluado y porcentaje que representan agrupadas por grupo funcional.

Grupo Funcional *	Nº de especies	%
Gramíneas invernales	21	13
Gramíneas estivales	39	25
Leguminosas	12	8
Hierbas enanas	81	52
Arbustivas	4	3
Total	157	100

*Las especies de Ciperáceas y Juncáceas no figuran en el cuadro ya que las determinaciones se hicieron a nivel de familia.

3.1.1. Relación Invernal/Estival

Los valores de la relación I/E obtenidos al inicio del estudio en los dos tratamientos fueron similares (0,18 vs 0,29 $p>0,05$) (Tablas 4 y 5). A nivel de tratamiento, tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la relación I/E a lo largo del estudio (0,29 vs 0,15 y 0,17 vs 0,15, Tablas 6, 7, 8 y 9).

Tabla 4. Resultados del ANAVA de la relación entre las especies de gramíneas Invernales/Estivales de los dos tratamientos al inicio del estudio.

Fuente de variación	gl	F	p-valor
Tratamiento	1	1,74	0,1895
Error	102		
Total	103		

Tabla 5. Relación entre las especies de gramíneas Invernales/Estivales de los dos tratamientos al inicio del estudio.

	Tratamiento	
	Ajuste de carga	Carga controlada
Media	0,18 ± 0,06 A	0,29 ± 0,06 A

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Tabla 6. Resultados del ANAVA de la relación entre las especies de gramíneas Invernales/Estivales según estación para el tratamiento con carga controlada (CC).

Fuente de variación	gl	F	p-valor
Tratamiento	1	2,16	0,1449
Error	102		
Total	103		

Tabla 7. Relación entre las especies de gramíneas Invernales/Estivales según estación para el tratamiento con carga controlada (CC).

	Primavera 2013-Verano 2014	Primavera 2014- Verano 2015
Media	0,29 ± 0,07 A	0,15 ± 0,07 A

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Tabla 8. Resultados del ANAVA de la relación entre las especies de gramíneas Invernales/Estivales según estación para el tratamiento con ajuste de carga (AC).

Fuente de variación	gl	F	p-valor
Tratamiento	1	0,12	0,7292
Error	112		
Total	113		

Tabla 9. Relación entre las especies de gramíneas Invernales/Estivales según estación para el tratamiento con ajuste de carga (AC).

	Primavera 2013-Verano 2014	Primavera 2014- Verano 2015
Media	0,17 ± 0,03 A	0,15 ± 0,03 A

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

3.1.2. Índices de diversidad

Al inicio del estudio (primavera 2013), los potreros con manejo carga controlada (CC) tuvieron una mayor riqueza (60 vs 53 especies), un mayor índice de Shannon-Wiener (2,70 vs 2,41) y un menor índice de Simpson (0,12 vs 0,16) que los potreros con manejo ganadero ajuste de carga (AC)(Tabla 10). En los potreros con manejo CC, la comunidad vegetal tenía una mayor cantidad de especies, distribuidas de forma más equitativa y con un menor número de especies dominantes que en los potreros con manejo ganadero AC.

Tabla 10. Índices de diversidad al inicio del estudio según tratamiento.

		Tratamiento			
	Índice	CC	EE	AC	EE
	Riqueza	60	1,52	53	1,69
Primavera 2013	Shannon-Wiener	2,70	0,02	2,41	0,02
	Simpson	0,12	0,0027	0,16	0,0033

Intervalos Bootstrap (n=500). EE: error estándar

Con respecto al tratamiento CC, al final del estudio (primavera 2014) los potreros tuvieron una mayor riqueza (69 vs 60), un menor índice de Shannon-Wiener (2,64 vs 2,70) y un mayor índice de Simpson (0,13 vs 0,12) que al inicio del estudio durante la primavera del año 2013 (Tabla 11). Por lo tanto, luego de un año, la composición florística de los potreros a los que se les aplicó el tratamiento CC se caracterizó por tener un mayor número de especies pero distribuidas de forma menos equitativa y con una mayor proporción de especies dominantes.

Tabla 11. Índices de diversidad del tratamiento CC según estación y año.

	Riqueza	EE	Shannon-Wiener	EE	Simpson	EE
Primavera 2013	60	1,59	2,70	0,02	0,12	0,0026
Primavera 2014	69	1,77	2,64	0,02	0,13	0,0023

Intervalos Bootstrap (n=500). EE: error estándar.

En cuanto a los potreros a los cuales se les aplicó el tratamiento AC, durante la primavera 2014 se obtuvo una mayor riqueza de especies (65 vs 53), un mayor índice de Shannon-Wiener (2,62 vs 2,41) y un menor índice de Simpson (0,16 vs 0,13) que durante la primavera 2013 (Tabla 12). En estos potreros, al final del estudio, la composición florística se caracterizó por un mayor número de especies, distribuidas de forma más equitativa y con menor presencia de especies dominantes.

Tabla 12. Índices de diversidad del tratamiento AC según estación y año

	Riqueza	EE	Shanon-Wiener	EE	Simpson	EE
Primavera 2013	53	1,60	2,41	0,02	0,16	0,0033
Primavera 2014	65	1,88	2,62	0,02	0,13	0,0024

Intervalos Bootstrap (n=500). EE: error estándar.

3.1.3. Clasificación por grupos funcionales

En el análisis de componentes principales del tratamiento AC, los dos primeros componentes de la composición florística explicaron el 98,3% de la variación ocurrida (Figura 2). El eje CP1, que explica el 56,4% de la varianza, representa la evolución del tiempo ya que separa claramente la composición florística al inicio (primavera 2013 y verano 2014) y al final (primavera 2014 y verano 2015) del estudio. Al inicio del estudio, la composición florística de los potreros con manejo ganadero AC estaba compuesta por especies invernales con metabolismo C3 con una alta correlación con el eje CP1 (0,96), especies estivales con metabolismo C4, hierbas enanas y leguminosas mientras que al final del estudio la composición florística se caracterizó por la presencia de gramínoideas como las especies de la familia Cyperaceae (correlación con el eje CP1 -0,90) y subarborescentes.

Por otro lado, el eje CP2, que explica el 41,9% de la varianza, representa la variabilidad intra anual de la composición florística ya que separa la primavera del verano (Figura 2). Durante los meses de primavera la composición florística de estos potreros se caracterizó por la presencia de especies C3 sub arborescentes, especies leguminosas, hierbas enanas y gramínoideas mientras que durante los meses de verano (2014 y 2015) predominaron las especies gramíneas con metabolismo C4 siendo esta variable la que tuvo la correlación más alta con el eje CP2 (0,93)(Figura 2).

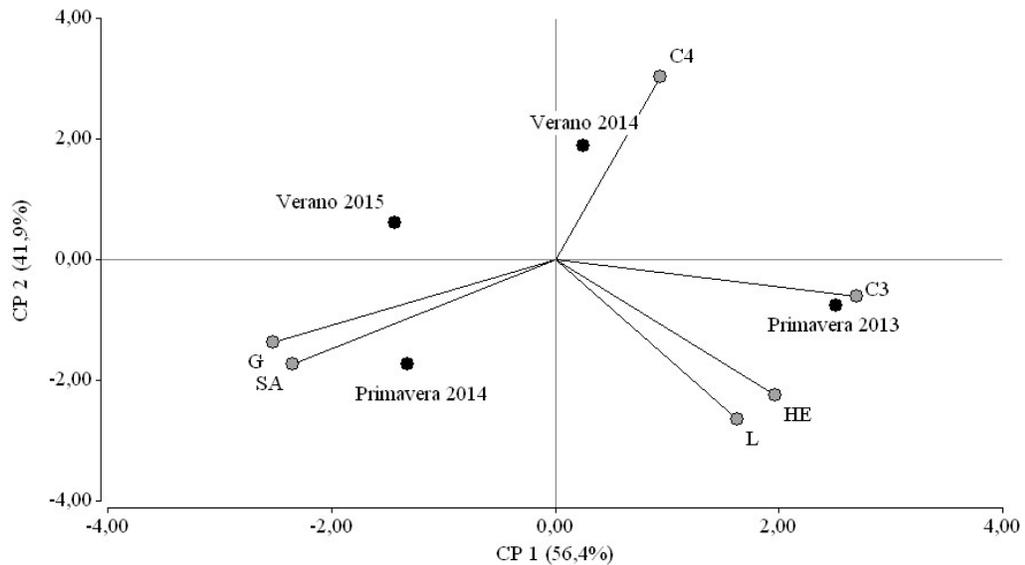


Figura 2. Biplot del análisis de componentes principales del tratamiento AC en función de la estación y composición florística agrupada por grupos funcionales G: gramínoideas; L: leguminosas; C4: gramíneas con metabolismo fotosintético C4; C3: gramíneas con metabolismo fotosintético C3; SA: sub arbustivas; HE: hierbas enanas.

Con respecto a los potreros con tratamiento CC, los dos primeros componentes principales explicaron el 84,5% de la variación ocurrida (Figura 3). El eje CP1, que explica el 56,5% de la varianza separa la estación verano 2015 del resto de las estaciones verano 2014, primavera 2013 y primavera 2014. De acuerdo con este eje, la composición florística de los potreros con el tratamiento CC durante el verano 2015 se caracterizó por la presencia de gramínoideas como las especies de la familia Ciperáceas. En el resto de las estaciones evaluadas, los potreros con tratamiento CC tuvieron una composición florística compuesta por especies sub arbustivas, leguminosas, hierbas enanas y especies C3 siendo este último grupo funcional el que tuvo la mayor correlación con el eje CP1 (0,95). Por otro lado, el eje CP2 explica el 28% de la varianza y separa el verano 2014 con una composición florística compuesta principalmente por especies C4 (correlación con el eje CP2: 1) de las estaciones verano 2015, primavera 2014 y primavera 2013 con una

composición florística caracterizada por especies de gramínoideas, hierbas enanas y sub arbustivas (Figura 3).

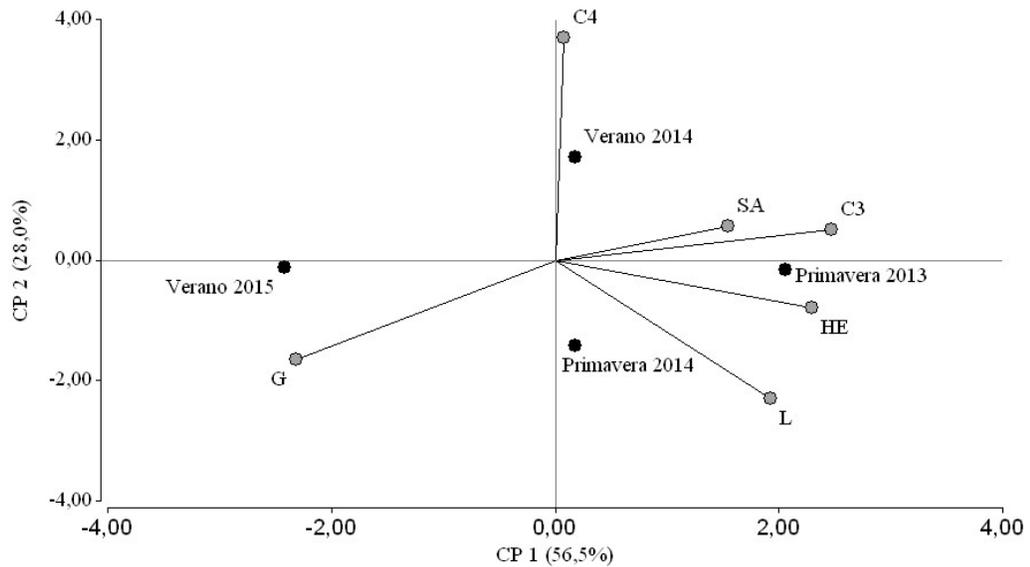


Figura 3. Biplot del análisis de componentes principales del tratamiento CC en función de la estación y composición florística agrupada por grupos funcionales G: gramínoideas; L: leguminosas; C4: gramíneas con metabolismo fotosintético C4; C3: gramíneas con metabolismo fotosintético C3; SA: sub arbustivas; HE: hierbas enanas.

En este tipo de análisis, el grupo funcional gramínoideas demostró tener un peso muy importante en la composición florística de los dos tratamientos por lo que para poder ver con mayor claridad la agrupación de las especies C3 y C4 en función de los tratamientos se quitó del análisis al grupo funcional gramínoideas.

En este nuevo análisis para el tratamiento CC, los dos primeros componentes principales de la composición florística explicaron el 99,1 % de la variación ocurrida (Figura 4). El eje CP1 explica el 87,2% de la varianza y separa las mediciones realizadas en verano (2014 y 2015) de las realizadas en primavera (2013 y 2014) por lo que representaría la variación intra anual de la composición florística. De acuerdo con este eje, durante el verano la composición florística del tratamiento CC estaba

compuesta por especies gramíneas con metabolismo C4 (correlación con eje CP1: 1) y especies sub arbustivas mientras que en la primavera se caracterizó por la presencia de especies leguminosas, hierbas enanas y gramíneas C3.

El eje CP2, que explica el 11,9 % de la varianza, representa la evolución del tiempo dado que separa los muestreos realizados durante el primer año del estudio (primavera 2013 y verano 2014) de los realizados durante el segundo año (primavera 2014 y verano 2015) (Figura 4) . De acuerdo a este eje, la composición florística de los potreros con el tratamiento CC durante el primer año del estudio se caracterizó por la presencia de especies gramíneas C3 y C4, hierbas enanas y sub arbustivas mientras que durante el segundo año se compuso principalmente de especies leguminosas.

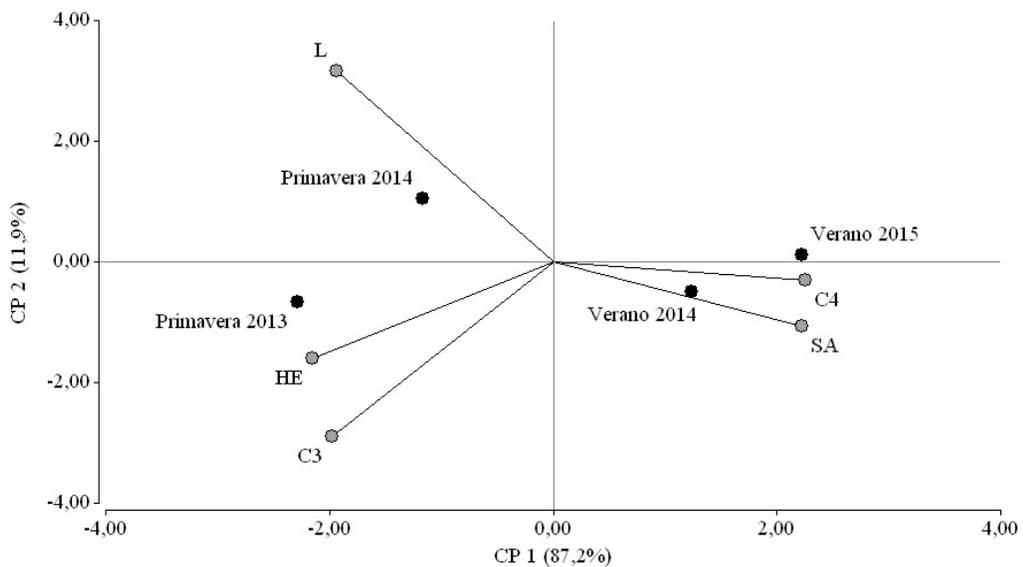


Figura 4. Biplot del análisis de componentes principales del tratamiento CC en función de la estación y composición florística agrupada por grupos funcionales excluyendo al grupo graminoideos. L: leguminosas; C4: gramíneas con metabolismo fotosintético C4; C3: gramíneas con metabolismo fotosintético C3; SA: sub arbustivas; HE: hierbas enanas.

Con respecto a los potreros manejados con el tratamiento AC, los dos primeros componentes principales de la composición florística explicaron el 99% de la variación ocurrida (Figura 5). El eje CP1, que explica el 68,8% de la varianza separa los muestreos realizados de acuerdo a la estación del año al igual que en los potreros con tratamiento CC. En este caso, la composición florística durante los meses de verano se caracterizó casi exclusivamente por la presencia de especies gramíneas C4 mientras que durante los meses de primavera la composición florística se caracterizó por la presencia de especies de leguminosas, hierbas enanas y gramíneas C3.

Por otro lado, el eje CP2 explica el 30,2% de la varianza y representa la variación temporal de la composición florística ya que separa los muestreos realizados durante el primer año de los realizados durante el segundo año del estudio. Para este tratamiento, durante el primer año del estudio (primavera 2013 y verano 2014), la composición florística de los potreros se compuso principalmente de especies gramíneas C3 mientras que durante el segundo año (primavera 2014 y verano 2015) se compuso de especies sub arbustivas, hierbas enanas, leguminosas y gramíneas C4.

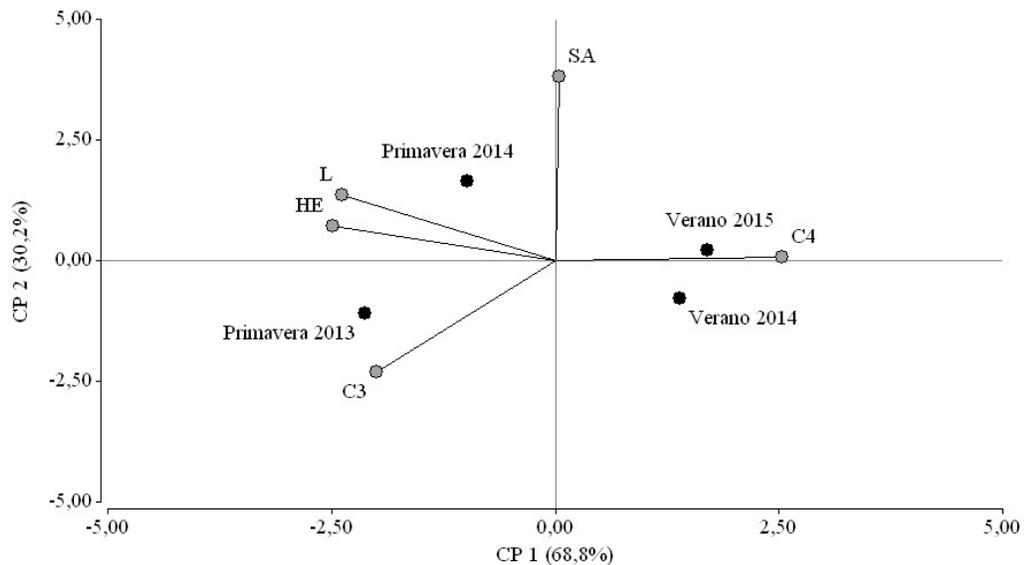


Figura 5. Biplot del análisis de componentes principales del tratamiento AC en función de la estación y composición florística agrupada por grupos funcionales excluyendo al grupo graminoideos. L: leguminosas; C4: gramíneas con metabolismo

fotosintético C4; C3: gramíneas con metabolismo fotosintético C3; SA: sub arbustivas; HE: hierbas enanas.

3.1.4. Clasificación por tipo productivo

En el análisis de componentes principales del tratamiento CC, los dos primeros componentes principales de la varianza de la composición florística agrupada según el tipo productivo explicaron el 89% de la variación total (Figura 6).

El eje CP1, que explica el 46% de la varianza, representa el tiempo ya que separa los muestreos realizados al inicio del estudio (primavera 2013- verano 2014) de los realizados al final (primavera 2014- verano 2015). Según este eje, al inicio del estudio, los potreros que recibieron el tratamiento CC tuvieron una composición florística caracterizada por malezas enanas (ME) como *Chevreulia sarmentosa* Vent. ex Steud., especies tiernas (T) como *Coelorachis selloana* o *Paspalum notatum*, malezas de campo sucio (MCS) como *Baccharis coridifolia* y *Baccharis trimera* y suelo desnudo mientras que al final del estudio la composición florística estuvo compuesta por especies duras (D) como *Andropogon lateralis* Nees. y *Stipa charruana*, finas (F) como *Paspalum dilatatum* y *Poa lanígera* y malezas menores (MM) como *Chaptalia piloselloides*.

Por otro lado, el eje CP2 que explica el 43% de la varianza, separa los muestreos realizados en primavera de los realizados en verano (Figura 6). Durante los meses de primavera, la composición florística de los potreros con el tratamiento CC estuvo compuesta por especies duras (D), malezas enanas (ME) y malezas menores (MM) mientras que verano la composición florística estuvo compuesta por especies finas (F), ordinarias (O) y malezas de campo sucio (MCS).

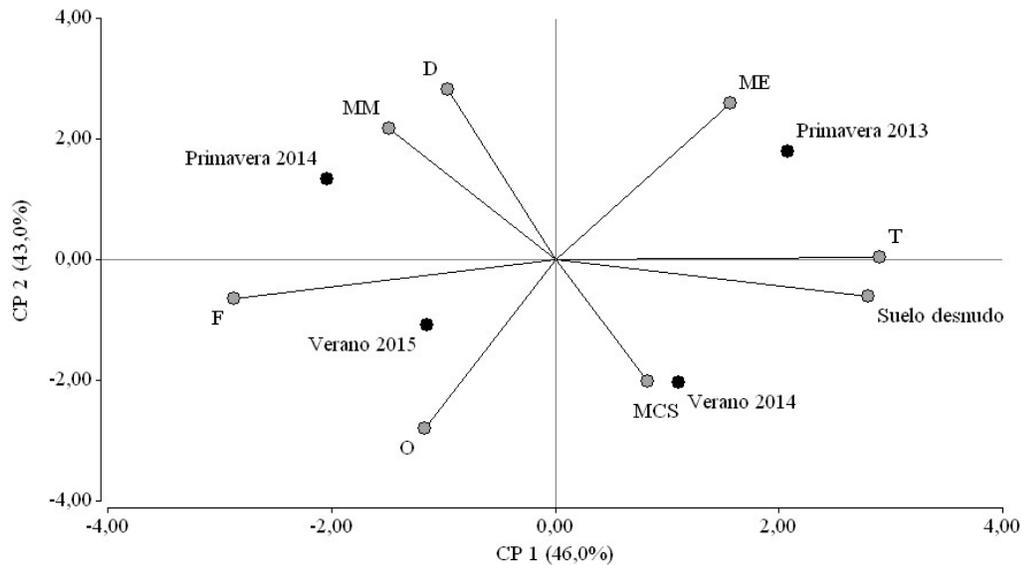


Figura 6. Biplot del análisis de componentes principales del tratamiento CC en función de la estación y composición florística agrupada por tipo productivo. D: duro; F: fino; MCS: maleza de campo sucio; ME: maleza enana; MM: maleza menor; O: ordinario; T: tierno.

Para los potreros a los que se les aplicó el tratamiento AC, los dos primeros componentes principales de la varianza de la composición florística agrupada según el tipo productivo explicaron el 90% de la variación total (Figura 7). El eje CP1, que explica el 67,6% de la varianza, separa los muestreos realizados en verano a la derecha de los realizados en primavera a la izquierda. De acuerdo con este eje, durante los meses de verano los potreros con tratamiento AC tuvieron una composición florística compuesta por especies ordinarias (O), finas (F), malezas menores (MM) y malezas de campo sucio (MCS) mientras que durante los meses de primavera la composición florística se caracterizó por la presencia de especies duras (D), tiernas (T) y malezas enanas (ME).

El eje CP2 explicó el 22,4% de la varianza y separa los muestreos realizados durante el verano 2015 del resto de las estaciones (Figura 7). De acuerdo con este eje, durante el verano 2015 la composición florística de los potreros con tratamiento AC se caracterizaron por la presencia de especies finas (F), tiernas (T) y ordinarias (O) mientras que en las estaciones primavera 2013, primavera 2014 y verano 2014 la

composición florística estuvo compuesta de especies duras (D), malezas enanas (ME), malezas menores (MM) y malezas de campos sucio (MCS).

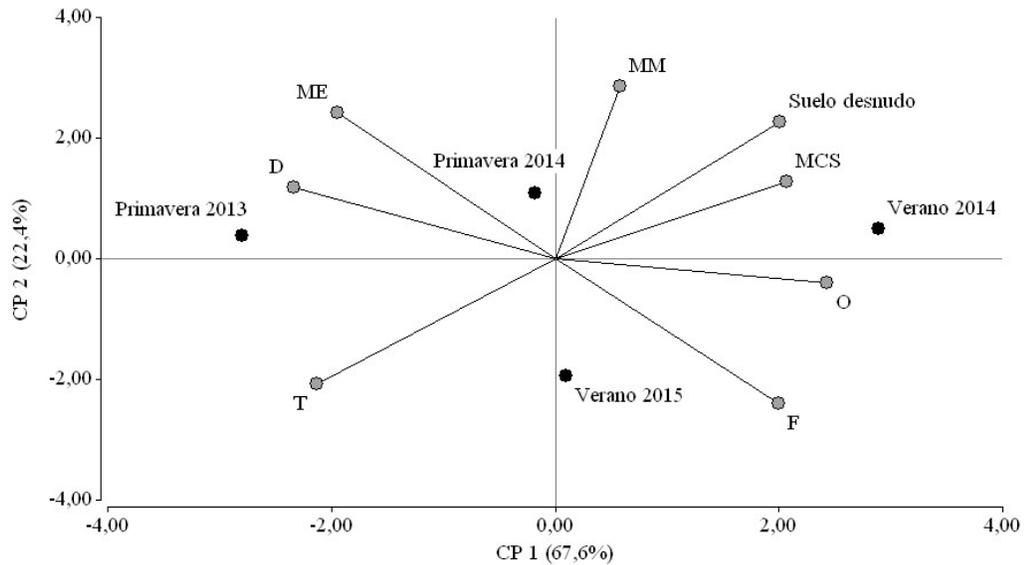


Figura 7. Biplot del análisis de componentes principales del tratamiento AC en función de la estación y composición florística agrupada por tipo productivo. D: duro; F: fino; MCS: maleza de campo sucio; ME: maleza enana; MM: maleza menor; O: ordinario; T: tierno.

3.2. PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA AÉREA

Los valores promedio de Producción Primaria Neta Aérea o PPNA para el total de predios y tratamientos mostraron una variación estacional durante el período evaluado (invierno 2013-verano 2015) registrando valores mínimos en los meses de invierno 2013 ($0,62 \text{ gMS.m}^2.\text{día}^{-1}$) y máximos durante los meses de verano 2015 ($3,06 \text{ gMS.m}^2.\text{día}^{-1}$, Figura 8).

Al igual que la PPNA, en los valores que se obtuvieron de la radiación absoluta absorbida por las plantas o RFAA se pudo observar una variación estacional (Figura 8). En este caso, los valores mínimos se obtuvieron en los meses de invierno

2013 ($2,32 \text{ MJ.m}^2.\text{día}^{-1}$) e invierno 2014 ($2,32 \text{ MJ.m}^2.\text{día}^{-1}$) y los máximos durante el verano 2015 ($6,85 \text{ MJ.m}^2.\text{día}^{-1}$, Figura 8).

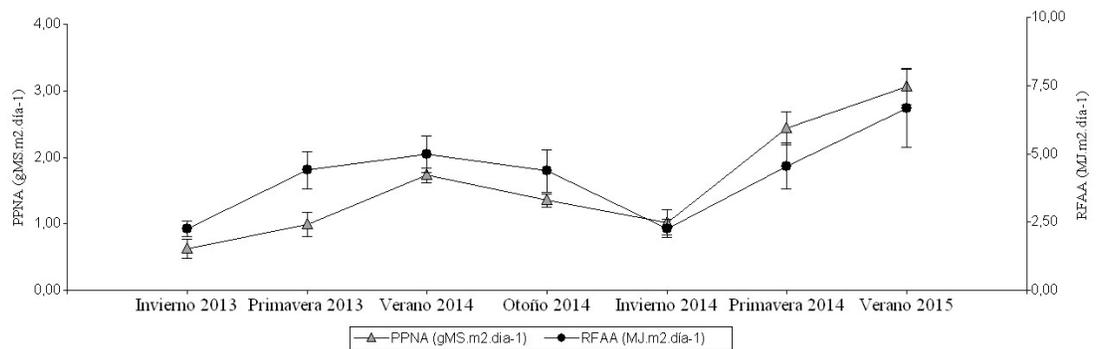


Figura 8. Variación estacional de la PPNA y RFAA promedio para el total de predios y tratamientos. Cada valor corresponde a la media para cada estación. Circulos: PPNA ($\text{gMS.m}^2.\text{día}^{-1}$); Triángulos: RFAA ($\text{MJ.m}^2.\text{día}^{-1}$).

Tanto en el tratamiento CC como en el tratamiento AC, los valores de PPNA obtenidos mostraron una variación estacional con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) (Figuras 9 A y B).

Tabla 13. Resultados del ANAVA de la variación estacional de la PPNA promedio.

A			
Fuente de variación	gl	F	p-valor
Estación	6	8,36	<0,0001
Error	27		
Total	33		

B			
Fuente de variación	gl	F	p-valor
Estación	6	12,9	<0,0001
Error	27		
Total	33		

A: tratamiento CC; B: tratamiento AC.

En el tratamiento CC, los valores más altos de PPNA se registraron durante el verano 2015 (2,88 gMS.m².día⁻¹) y la primavera 2014 (2,46 gMS.m².día⁻¹) mientras que los valores mínimos se obtuvieron en los meses de invierno 2013 (0,72 gMS.m².día⁻¹), primavera 2013 (1,19 gMS.m².día⁻¹), otoño 2014 (1,38 gMS.m².día⁻¹) e invierno 2014 (1,26 gMS.m².día⁻¹)(Figura 9A).

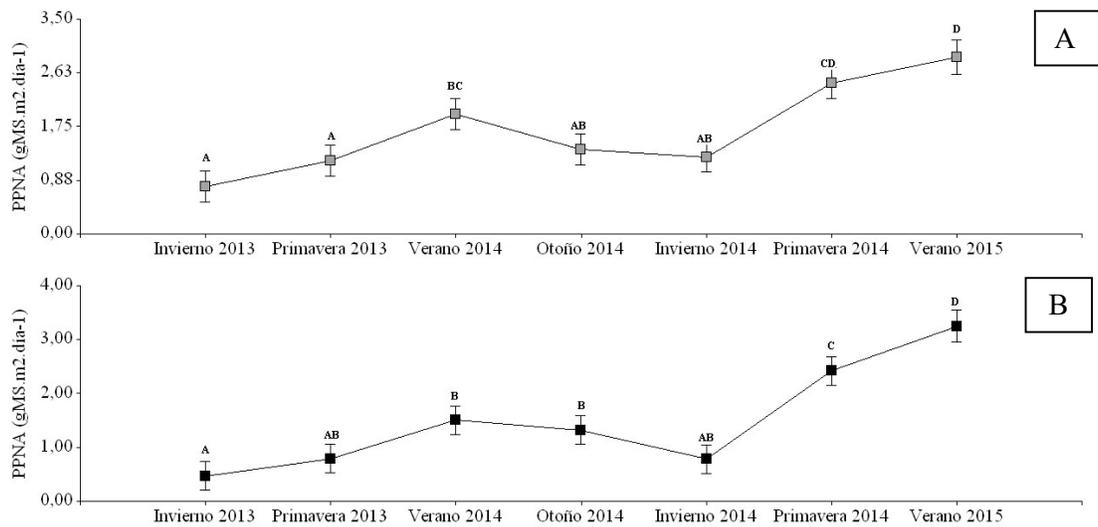


Figura 9. Variación estacional de la PPNA promedio según tratamiento. A: tratamiento CC; B: tratamiento AC. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Con respecto al tratamiento AC, los valores máximos de PPNA se obtuvieron en el verano 2015 (3,25 gMS.m².día⁻¹) mientras que los valores mínimos se registraron en los meses de invierno 2013 (0,47 gMS.m².día⁻¹), primavera 2013 (0,79 gMS.m².día⁻¹) e invierno 2014 (0,78 gMS.m².día⁻¹)(Figura 9B).

Además, los valores obtenidos al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2014) fueron significativamente diferentes de los obtenidos al final del estudio (primavera 2014-verano 2015), tanto en el tratamiento CC (1,57 gMS.m².día⁻¹ vs 2,64 gMS.m².día⁻¹, $p < 0,05$)(Tabla 15 A y B) como en el tratamiento AC (1,15 gMS.m².día⁻¹ vs 2,79 gMS.m².día⁻¹, $p < 0,05$)(Figura 10 A y B).

Tabla 15. Resultados del ANAVA de la PPNA promedio según el momento del estudio (primavera 2013-verano 2014 y primavera 2014-verano 2015).

A			
Fuente de variación	gl	F	p-valor
Momento	1	14,95	0,0012
Error	17		
Total	18		

B			
Fuente de variación	gl	F	p-valor
Momento	1	19,48	0,0004
Error	17		
Total	18		

A: tratamiento CC; B: tratamiento AC.

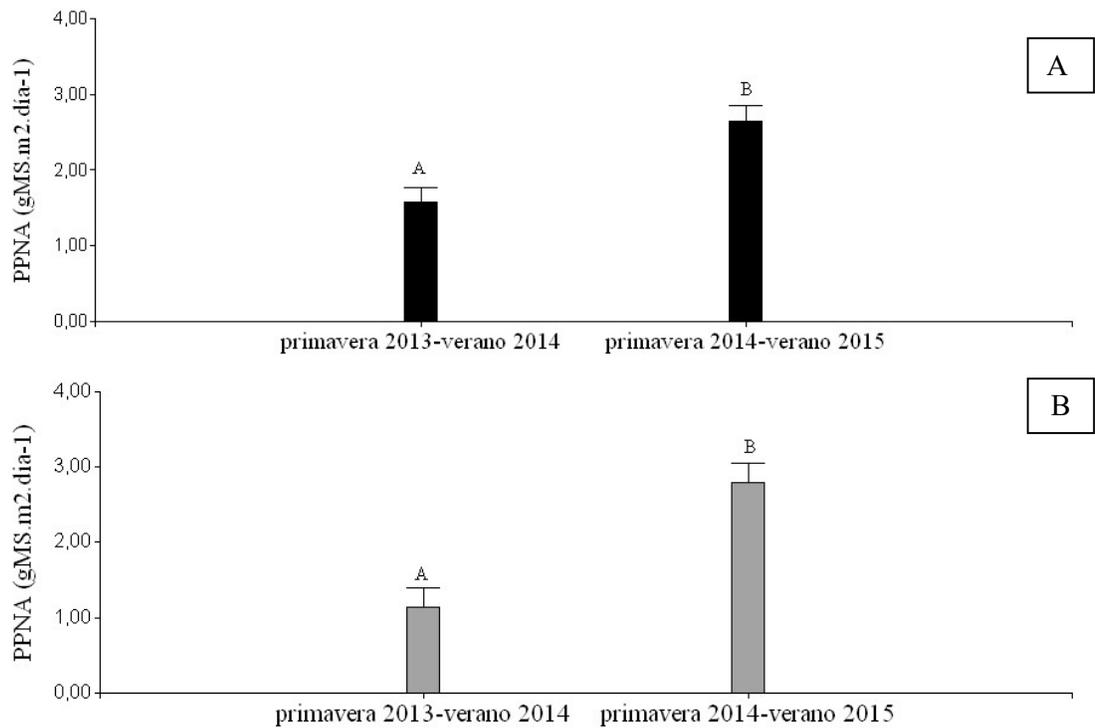


Figura 10. PPNA promedio al inicio (primavera 2013-verano 2014) y al final (primavera 2014-verano 2015) del estudio según tratamiento. A: tratamiento CC; B: tratamiento AC. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Si se comparan los valores de PPNA promedios obtenidos al inicio del período en estudio (invierno y primavera 2013) se puede observar que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos tratamientos evaluados ($1,15 \text{ gMS.m}^2.\text{día}^{-1}$ vs $1,57 \text{ gMS.m}^2.\text{día}^{-1}$, $p>0,05$)(Tabla 16 y figura 11).

Tabla 16. Resultados del ANAVA de la PPNA promedio al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2015) según tratamiento.

Fuente de variación	gl	F	p-valor
Tratamiento	1	2,73	0,116
Error	18		
Total	19		

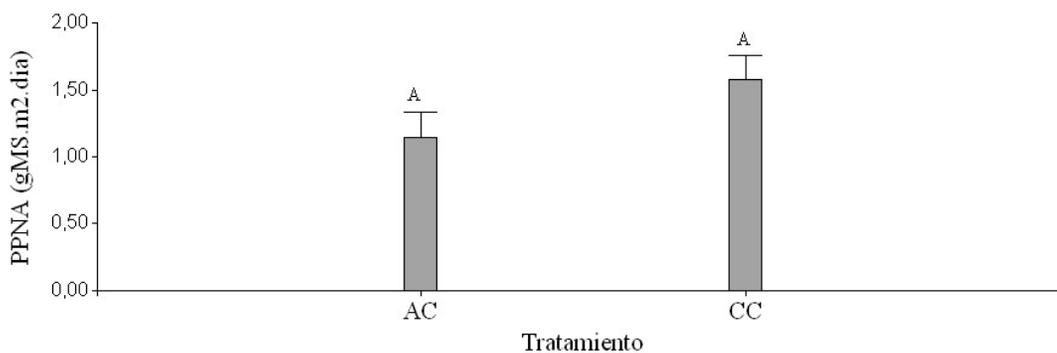


Figura 11. PPNA promedio al inicio del estudio (invierno 2013- primavera 2013) según tratamiento. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p>0,05$).

3.3. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE EUR

Los valores del coeficiente EUR obtenidos en el total del período y para los dos tratamientos mostraron una variación estacional con una media de $0,41 \text{ g.MJ}^{-1}$ y un

valor máximo obtenido durante los meses de primavera 2014 (0,62 g.MJ⁻¹, p<0,05)(Tabla 17 y figura 13).

Tabla 17. Resultados del ANAVA de la variación estacional del coeficiente EUR para el total de predios y tratamientos.

Fuente de variación	gl	F	p-valor
Estación	6	3,77	0,003
Error	61		
Total	67		

Además, el coeficiente EUR mostró tener una variación anual dado que los valores obtenidos durante el segundo año (primavera 2014 y verano 2015) fueron superiores a los obtenidos durante el primer año en los meses de primavera 2013 y verano 2014 (0,25 y 0,37 g.MJ⁻¹ vs. 0,62 y 0,51 g.MJ⁻¹, p<0,05)(Figura 13).

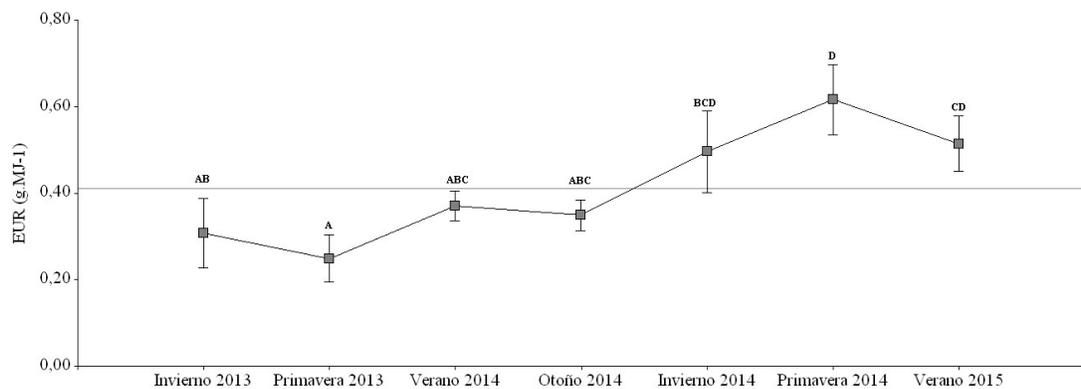


Figura 13. Variación estacional del coeficiente EUR promedio para el total de predios y tratamientos. Cada valor corresponde a la media para cada estación. La línea recta indica la media general (n=48). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher (p<0,05).

Los valores del coeficiente EUR obtenidos al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2014) fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$, Tabla 18 A y B) de los obtenidos al final del estudio (primavera 2014-verano 2015) para los tratamientos AC y CC cuando se comparan los resultados obtenidos dentro de cada tratamiento por separado (Figura 14 A y B). Los valores de EUR obtenidos al final del estudio fueron superiores a los obtenidos al inicio tanto en el tratamiento CC ($0,39 \text{ g.MJ}^{-1}$ vs $0,61 \text{ g.MJ}^{-1}$) como en el tratamiento AC ($0,22 \text{ g.MJ}^{-1}$ vs $0,53 \text{ g.MJ}^{-1}$) (Figura 14 A y B).

Tabla 18. Resultados del ANAVA del coeficiente EUR promedio según el momento del estudio (primavera 2013-verano 2014 y primavera 2014-verano 2015).

A			
Fuente de variación	gl	F	p-valor
Momento	1	8,38	0,0084
Error	22		
Total	23		

B			
Fuente de variación	gl	F	p-valor
Momento	1	12,17	0,0021
Error	22		
Total	23		

A: tratamiento CC; B: tratamiento AC.

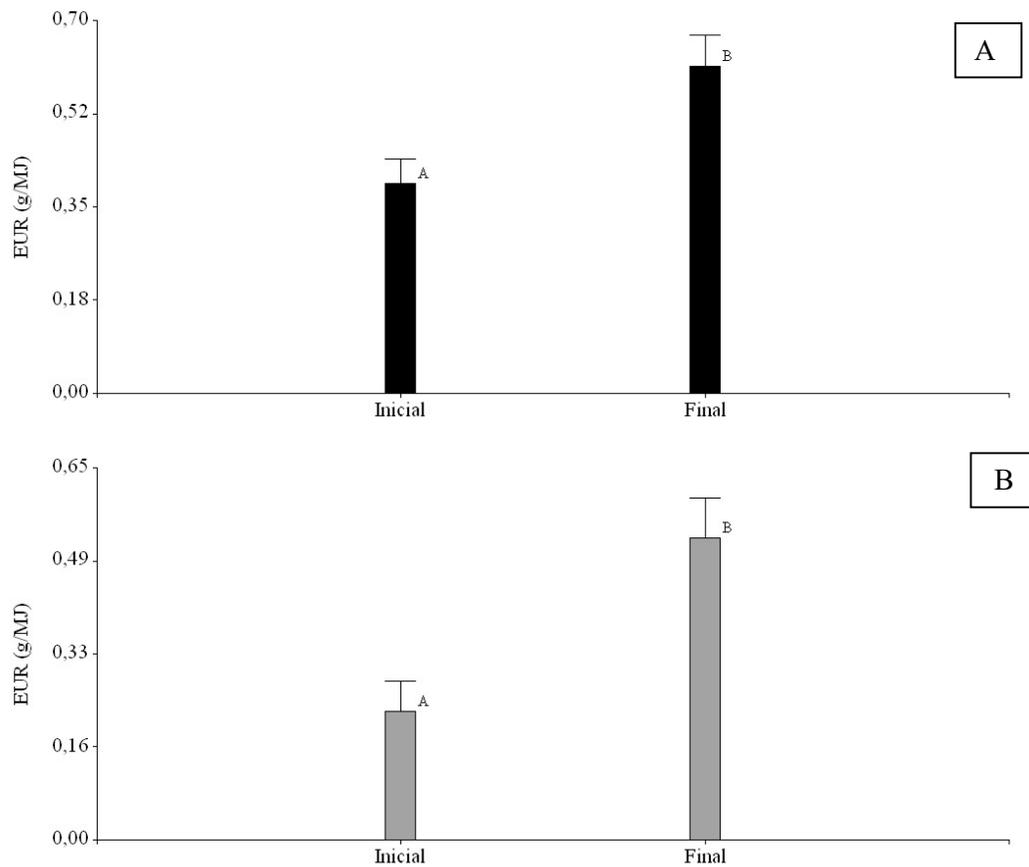


Figura 13. Coeficiente EUR promedio al inicio primavera 2013-verano 2014) y al final (primavera 2014-verano 2015) del estudio según tratamiento. A: tratamiento CC; B: tratamiento AC. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Por otro lado, cuando se comparan los valores de EUR obtenidos en los dos tratamientos al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2014) se observa que el valor promedio del coeficiente EUR de los potreros con tratamiento AC fue diferente del valor obtenido en el potrero CC (0,22 vs 0,39, $p < 0,05$)(Tabla 19).

Tabla 19. Coeficiente EUR promedio al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2014) según tratamiento.

	Tratamiento	
	Ajuste de Carga	Carga Controlada
Media	0,22 ± 0,04 A	0,39 ± 0,04 B

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

4. DISCUSIÓN

Dado que al momento de iniciar este trabajo no se mantuvo ningún potrero dentro de cada predio con un manejo ganadero con pastoreo continuo y altas cargas a modo de tratamiento testigo no fue posible comprobar las hipótesis planteadas ni cumplir con los objetivos planteados originalmente. En este sentido, no se pudo evaluar el efecto del manejo ganadero en la composición florística, PPNA y coeficiente EUR entre los dos tratamientos salvo al inicio del estudio.

El número de especies de la familia gramíneas registradas a lo largo del estudio en el conjunto de potreros y tratamientos fue inferior a lo obtenido por Millot et al., en 1987 (80 vs 60) en campos naturales de Basalto y Lezama et al., en 2011 (78 vs. 60) en censos realizados dentro de la comunidad vegetal de suelos profundos de Basalto. De hecho, Lezama et al., (2011), describen la comunidad de suelos profundos de Basalto como compuesta principalmente por gramíneas estivales, gramíneas invernales y hierbas enanas con coberturas decrecientes mientras que los resultados obtenidos en este trabajo muestran una contribución menor de las gramíneas invernales frente a las hierbas enanas.

Con respecto a la relación entre especies de gramíneas invernales y estivales los valores obtenidos no mostraron diferencias al comparar los datos iniciales con respecto a los finales dentro de cada tratamiento por lo que la intensidad de pastoreo no fue, en este caso, un factor determinante en definir la relación de gramíneas C3 y C4 pese a que otros autores lo consideran un factor de importante (Rusch y Oesterheld, 1997). La relación I/E podría estar asociada a ciertas características del suelo como contenido de arcilla, capacidad de intercambio catiónico y contenido de calcio (concentración de Ca^{2+}) como lo demuestran May et al., en 1990.

Los índices de diversidad mostraron diferencias en la composición florística de los dos tratamientos al comparar los resultados obtenidos al inicio y al final del estudio dentro de cada tratamiento por separado. En el caso del tratamiento CC los cambios en la composición florística estuvieron asociados a un aumento en el número de especies registradas junto con un aumento de la proporción de especies dominantes y por lo tanto a una distribución menos equitativa de las mismas en la

comunidad vegetal. Los potreros con tratamiento AC, tuvieron una comunidad vegetal con una mayor cantidad de especies, con una menor proporción de especies dominantes y distribuidas de forma más equitativa al final del estudio que podrían deberse al cambio de manejo aplicado. Estas variaciones en la riqueza y diversidad de las especies también estarían asociados a las condiciones del clima que se registraron durante el estudio (precipitaciones por encima de la media) de acuerdo a lo propuesto por Fuhlendorf y Engle (2001). Al comparar los dos tratamientos al inicio del estudio se pudo observar que las comunidades vegetales de suelos profundos de Basalto de los potreros con tratamiento CC tenían una composición florística con un mayor número de especies, distribuidas de forma más equitativa y con un menor número de especies dominantes que las de los potreros con tratamiento AC. Estas diferencias iniciales entre las diversidades de los dos tratamientos podrían sugerir diferencias en el manejo histórico de los potreros.

Los análisis realizados de la composición florística agrupada por grupos funcionales y tipos productivos mostraron cambios en la vegetación de los dos tratamientos a lo largo del tiempo. En los potreros con tratamiento CC, mantener un manejo ganadero con cargas moderadas a lo largo del tiempo favoreció un aumento en la cobertura de especies finas (F) (Jaurena et al., 2005) pero también de especies de tipo duro (D). Esto concuerda con Rosengurtt (1943) y Berretta (2005) que indican que los manejos del pastoreo aliviados favorecen tanto a las especies tiernas y finas como a las ordinarias y duras que generan el endurecimiento del campo. Por otro lado, en los potreros con tratamiento AC, al final del estudio se observó una mayor presencia de especies finas, tiernas, ordinarias y sub arbustivas que están directamente asociadas a un manejo del pastoreo menos intenso (Milot et al., 1987, Boggiano et al., 2005, Jaurena et al., 2005). El aumento de la presencia de especies sub arbustivas en este tratamiento podría asociarse a la reducción en la intensidad de pastoreo que provocaría un menor pisoteo por parte de los animales según lo reportado por Lezama (2013).

Durante la primavera 2014 y el verano 2015 se observó un aumento en la presencia de especies de la familia Cyperaceae que estaría asociado a las condiciones climáticas existentes durante el estudio con temperaturas altas y precipitaciones por

encima de la media anual sumado al efecto que tiene el pastoreo promoviendo la presencia de especies gramíneas (Lezama, 2013).

Los valores de PPNA obtenidos son similares a los reportados por Berreta et al., (2001) en campos naturales sobre suelos profundos de Basalto en años con excesos hídricos, con picos máximos en los meses de verano y mínimos en invierno. Los valores de la RFAA tuvieron una variación estacional similar a la de la PPNA con picos máximos en los meses de verano y mínimos durante los meses de invierno. Los picos máximos registrados durante los meses estivales estarían asociados a los momentos con mayor RFAA y podrían deberse a la composición florística de los potreros que estuvo compuesta principalmente por especies gramíneas de metabolismo C4 (Grigera et al., 2007, Guido et al., 2014).

No se encontraron diferencias en cuanto a la PPNA al comparar los dos tratamientos al inicio del estudio mientras que los mayores valores obtenidos al final del estudio, durante la primavera 2014 y verano 2015, dentro de cada tratamiento estarían asociados al efecto año dado principalmente por las precipitaciones y las temperaturas por encima de la media anual que se registraron durante los años en los cuales se desarrolló el estudio.

Los valores obtenidos del coeficiente EUR son similares a los obtenidos por Oyarzabal et al., (2011) en campos naturales sobre suelos profundos de Basalto ($0,3-1 \text{ g.MJ}^{-1}$) pero superiores a los publicados por Baeza et al., (2010) también en campos de Basalto ($0,1-0,3 \text{ g.MJ}^{-1}$). A nivel estacional, los valores obtenidos mostraron una variación en el coeficiente EUR con valores máximos en los meses de primavera y verano y mínimos en invierno. Esta variación estacional del coeficiente EUR, ha sido reportada por otros autores, aunque con valores máximos en invierno y mínimos en verano (Piñeiro et al., 2006, Oyarzábal et al., 2011). De acuerdo con estos autores, las precipitaciones (positivamente) y la temperatura (negativamente) son las principales variables que afectan el coeficiente EUR. Esto implica que durante los meses de verano en los cuales se registran altas temperaturas y períodos de déficits hídricos los valores de EUR tengan valores mínimos. El hecho de que los resultados obtenidos en este trabajo en cuanto a la variación estacional del EUR sean contrarios a los reportados por estos autores con picos máximos en verano estaría

asociado a las condiciones climáticas que se registraron durante el período evaluado con precipitaciones por encima de la media anual. Las condiciones ambientales favorables no solo permitieron que se registraran valores máximos de EUR en los meses de verano sino que los valores de este coeficiente que se obtuvieron al final del estudio fueron superiores a los obtenidos al inicio para todos los potreros y tratamientos.

Por otro lado, al inicio del estudio el coeficiente EUR fue mayor en los potreros con tratamiento CC que en los que tuvieron tratamiento AC. Estos resultados podrían asociarse a las diferencias en el manejo del pastoreo que tuvieron los dos tratamientos previos al inicio del estudio.

Sin embargo, es importante destacar que los valores de EUR aquí presentados podrían tener un alto grado de error de predicción dado por la diferencia de tamaño entre los sitios en los cuales se determinó la PPNA (jaulas de exclusión de 1m²) y los píxeles MODIS (aproximadamente 6 ha) a partir de los cuales se obtuvieron los datos de RFAA. Oesterheld et al., (2011) plantean que el uso de jaulas de exclusión para estimar la productividad de las pasturas sometidas a pastoreo continuo no sería el método más adecuado dado que no solo representan un área mucho menor a la de los satélites sino que además no consideran el efecto del pastoreo en la vegetación. No obstante, en situaciones donde el manejo del pastoreo se realiza con carga continua es imprescindible el uso de las jaulas de exclusión para determinar la productividad (Oesterheld et al., 2011).

5. CONCLUSIONES

Se registraron cambios en la composición florística, PPNA y en el coeficiente EUR a lo largo del estudio en los dos tratamientos que podrían estar asociados principalmente a las precipitaciones y temperaturas por encima de la media anual registradas durante el período evaluado. Dado que no se mantuvo un tratamiento con manejo del pastoreo intenso a modo de testigo no fue posible realizar comparaciones entre los tratamientos. Además, puesto que el trabajo experimental se realizó en predios de productores, no fue posible asegurar una igualdad en el manejo del pastoreo en todos los predios. Esta variabilidad existente sumada a la falta de un tratamiento testigo y al corto período durante el cual se desarrolló el estudio, no permitió obtener resultados concluyentes acerca de las hipótesis planteadas pero si permitió obtener resultados exploratorios para futuros trabajos en el tema.

Por lo tanto sería importante considerar para futuros trabajos tener sitios que cuenten con un mayor control de la carga animal, análisis de suelo para evitar variabilidad en los tipos de suelo de los distintos sitios y mediciones de forraje disponible y de altura que permitan concluir acerca de las hipótesis planteadas. Sin embargo, con respecto al coeficiente EUR los valores obtenidos servirán para poder estimar con mayor precisión el crecimiento de forraje de los pastizales naturales sobre suelos profundos de Basalto ya que la información disponible para la región es escasa aún.

Por último, trabajos posteriores que permitan estudios a largo plazo de los efectos del manejo del pastoreo en esta comunidad vegetal serían fundamentales para demostrar la importancia de realizar un manejo del pastoreo controlado que permita mitigar la degradación del campo natural y asegure su persistencia como recurso ganadero fundamental para nuestro país.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaraz FJ. 2010. El método fitosociológico. Curso de Geobotánica. España. Universidad de Murcia. 24p.
- Altesor A. 2011. Servicios ecosistémicos de los pastizales naturales. En: Altesor A, Ayala W, Paruelo JM. (Eds.): Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales (Serie FPTA-INIA n°26). Montevideo: INIA. 221-234.
- Altesor A, Piñeiro G, Lezama F, Jackson RB, Sarasola MPJ. 2006. Ecosystem changes associated with grazing in subhumid South American grasslands. *Journal of Vegetation Science*. 17:323–332.
- Altesor A, Oesterheld M, Leoni E, Lezama F, Rodríguez C. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of an Uruguayan grassland. *Plant Ecology*. 179:83-91.
- Altesor A, Di Landro E, May H, Ezcurra E. 1998. Long-term species change in a Uruguayan grassland. *Journal of Vegetation Science*. 9(2):173–180.
- Ash AJ, McIvor G, Winter WH. 1995. How land condition alters plant-animal relationships in Australia's tropical rangelands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 56:77–92.
- Ayala W, Bermúdez R. 2005. Estrategias de manejo en campos naturales sobre suelos de lomadas en la región Este. En: Risso D, Ayala W, Bermúdez R, Berretta EJ. (Eds.): Seminario de Actualización Técnica en Campo Natural (Serie técnica n° 151). Montevideo: INIA.41-50.
- Baeza S, Paruelo J, Ayala W. 2011. Eficiencia en el uso de la radiación y productividad primaria en recursos forrajeros del este de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 15(2):48–59.
- Baeza S, Lezama F, Piñeiro G, Altesor A, Paruelo JM. 2010. Spatial variability of above-ground net primary production in Uruguayan grasslands: A remote sensing approach. *Applied Vegetation Science*. 13(1):72–85.
- Behling H, Jeske-Pieruschka V, Schuler L. 2009. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário tardío. En: Pillar V, Muller SC, Souza

Castilhos de ZM, Jacques AVA. (Eds.): Campos Sulinos- Conservacao e Uso Sustentável da Biodiversidade. Brasilia: Ministerio do Meio Ambiente. 13-25.

Berretta EJ. 2005. Producción y manejo de la defoliación en campos naturales de Basalto. En: Risso D, Ayala W, Bermúdez R, Berretta EJ. (Eds.): Seminario de Actualización Técnica en Campo Natural (Serie técnica n° 151). Montevideo: INIA. 61-74.

Berretta EJ, Risso D, Bemhaja M. 2001. Producción de forraje en campo natural. En: Risso D, Berretta EJ (Eds.): Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos de Uruguay (Boletín de divulgación n°76). Tacuarembó: INIA. 192p.

Berretta EJ. 1998. Principales características climáticas y edáficas de la región de Basalto en Uruguay. En: Berretta EJ (Ed.): Seminario de actualización técnica en tecnologías para Basalto (Serie técnica n°102). Tacuarembó: INIA. 406pp.

Bossi J, Navarro R. 1988. Geología del Uruguay. 2 vols. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. 966p.

Bradford JB, Hicke JA, Lauenroth WK. 2005. The relative importance of light-use efficiency modifications from environmental conditions and cultivation for estimation of large-scale net primary productivity. *Remote Sensing of Environment*. 96(2):246–255.

Braun-Blanquet J. 1964. Fitosociología: Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Madrid, España. H.Blume Ediciones. 835p.

Briske, D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. En: Heitschmidt, R.; Stuth, J. (Eds.). *Grazing management: an ecological perspective*. Oregon: Timber.85-108.

Bullock JM, Franklin J, Stevenson MJ, Silvertown J, Sarah J, Gregory SJ, Gregoryt SJ. 2001. A plant trait analysis of responses to grazing in a long-term experiment. *Journal of Applied Ecology*. 38(2):253–267.

- Buono G, Oesterheld M, Nakamatsu V, Paruelo J M. 2010. Spatial and temporal variation of primary production of Patagonian wet meadows. *Journal of Arid Environments*. 74(10):1257–1261.
- Boggiano P, Zanoniani R, Millot JC. 2005. Respuestas del campo natural a manejos con niveles crecientes de intervención. En: Risso D, Ayala W, Bermúdez R, Berretta EJ. (Eds.): *Seminario de Actualización Técnica en Campo Natural (Serie técnica n° 151)*. Montevideo: INIA. 105-114.
- Carámbula M. 2007. *Pasturas y Forrajes-Manejo, persistencia y renovación de pasturas*. Tomo II. Montevideo: Editorial Hemisferio Sur. 464p.
- Chytrý M, Otýpková, Z. 2003. Plot Sizes Used for Phytosociological Sampling of European Vegetation. *Journal of Vegetation Science* 14(4):563–70.
- Cingolani AM, Noy-Meir I, Renison DD, Cabido M. 2008. La ganadería extensiva: ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? *Ecología Austral*. 18: 253–271.
- Cingolani AM, Noy-meir I, Díaz S. 2005. Grazing Effects on Rangeland Diversity: a Synthesis of Contemporary Models. *Ecological Applications*. 15(2):757–773.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*. 18(1988):17–143.
- Cruz P, De Quadros F, Theau JP, Frizzo A, Jouany C, Duru M, Carvalho PC. 2010. Leaf Traits as Functional Descriptors of the Intensity of Continuous Grazing in Native Grasslands in the South of Brazil. *Rangeland Ecology and Management*. 63(3):350–358.
- Davis MA, Grime JP, Thompson K. 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology*. 88: 528-534.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2014. *InfoStat versión 2014*. Grupo InfoStat. Córdoba, Argentina. FCA, Universidad Nacional de Córdoba.

- Díaz S, Lavorel S, McIntyre S, Falczuk V, Casanoves F, Milchunas DG, Campbell BD. 2007. Plant trait responses to grazing? a global synthesis. *Global Change Biology*. 13(2):313–341.
- Díaz S, Cabido M. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science*. 8:463–474.
- Díaz S, Acosta A, Cabido M. 1992. Morphological analysis of herbaceous communities under different grazing regimes. *Journal of Vegetation Science*. 3: 689–696.
- de Souza Castilhos ZM, Díaz Machado M, Fett Pinto M. 2009. Producao animal como conservacao de flora campestre do Bioma Pampa. En: De Patta Pillar V, Muller S, de Souza Castilhos ZM, Jacques AV. (Eds.): *Campos Sulinos: conservacao e uso sustentavel da biodiversidade*. Brasília: Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis. 199-205.
- Durán A, García Préchac F. 2007. Suelos del Uruguay: origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo: Hemisferio Sur. 358p.
- Dyksterhuis EJ. 1949. Condition and Management of Range Land Based on Quantitative Ecology. *Journal of Range Management*. 2:104-115.
- Eve MD, Whitford W G, Havstadt KM. 1999. Applying satellite imagery to triage assessment of ecosystem health. *Environmental Monitoring and Assessment*. 54(3):205–227.
- Ewald J. 2003. Forum a critique for phytosociology. *Journal of Vegetation Science*. 14(2):291–296.
- Fernandez Alés R, Laffarga J, Ortega F. 1993. Strategies in Mediterranean grassland annuals in relation to stress and disturbance. *Journal of Vegetation Science*. 4:313–322.
- Formoso, D. 1996. Estrategias de manejo de pasturas naturales. *Producción Ovina*. 9: 21-34.
- Fuhlendorf SD, Engle DM. 2001. Restoring Heterogeneity on Rangelands: Ecosystem Management Based on Evolutionary Grazing Patterns. *American Institute of Biological Sciences*. 51(8):625-632.

- Gallego F, Lezama F, Pezzani F, López-Mársico L, Leoni E, Mello AL, Costa B. 2017. Estimación de la productividad primaria neta aérea y capacidad de carga ganadera : un estudio de caso en Sierras del Este, Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 21(1):120–130.
- Gardner AL. 1986. Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção. Brasília: INCA/EMBRAPA. v. 1. 197pp.
- Gastal F, Lemaire G, Lestienne F. 2004. Defoliation, Shoot plasticity, sward structure and herbage utilisation. En: II Simposio em Ecofisiologia das Pastagens e Ecologia do Pastejo. 11 al 14 de outubro de 2004. Paraná, Brasil.
- Gibson D. 2009. Grasses and Grassland Ecology. *Annals of botany* (Oxford Uni). New York: Oxford University Press.305p.
- Grigera G, Oesterheld M, Pacín F. 2007. Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems*. 94(3):637–648.
- Grime JP. 1998. Benefits of plant diversity to ecosystem: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology*. 86:902-910.
- Guido A, Varela RD, Baldassini P, Paruelo J. 2014. Spatial and Temporal Variability in Aboveground Net Primary Production of Uruguayan Grasslands. *Rangeland Ecology & Management*.67(1):30–38.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica*. 4(1):1-9.
- Hotelling H. 1933. Analysis of a complex of variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*. 24:417–441, 498–520.
- Illius AW, Connor TGO. 1999. On the relevance of nonequilibrium concepts to arid and semiarid grazing systems. *Ecological Applications*. 9(3):798–813.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) 2018. www.inia.uy.
- Jaurena M. 2009. Efecto de la carga de ovinos en la estructura y funcionamiento de praderas naturales de basalto en Uruguay. Tesis

- Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 95p.
- Jaurena M, Rivas M. 2005. La pradera natural del palmar de *Butia capitata* (Arecaceae) de Castillos (Rocha): Evolución con distintas alternativas de pastoreo. En: Risso D, Ayala W, Bermúdez R, Berretta EJ. (Eds.): Seminario de Actualización Técnica en Campo Natural (Serie técnica n° 151). Montevideo: INIA. 15-20.
- Kelly R, Walker BH. 1976. The effects of different forms of land use on the ecology of a semi-arid region in South-Eastern Rhodesia. *Journal of Ecology*. 64(2):553–576.
- Lavorel S, McIntyre S, Landsberg J, Forbes TD. 1997. Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Tree*. 12(12):475–478.
- Lemaire G, Hodgson J, Chabbi A. 2011. Introduction: food security and environmental impacts- Challenge for grassland services. En: Lemaire G, Hodgson J, Chabbi A. (Eds.): *Grassland Productivity and Ecosystem Services*. Cambridge (UK): CABI. 287p.
- Lemaire G, Chapman DF. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. En: Hodgson J, Illius AW. (Eds.): *The ecology of management of grazing systems*. Wallingford: CABI Publishing. 3-36.
- Lezama F, Baeza S, Altesor A, Cesa A, Chaneton E.J, Paruelo J.M. 2014. Variation of grazing-induced vegetation changes across a large-scale productivity gradient. *Journal of Vegetation Science*. 25(1):8–21.
- Lezama F. 2013. Interacciones planta-herbívoro en sistemas pastoriles: ¿Cómo afecta el ganado la estructura y el funcionamiento de la vegetación? ¿Cómo es afectada la selectividad del ganado por cambios en la estructura del pastizal? Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas opción Ecología. Montevideo, Uruguay. Facultad de Ciencias. 152p.
- Lezama F, Altesor A, Pereira M, Paruelo JM. 2011. Descripción de la heterogeneidad florística de las principales regiones geomorfológicas de Uruguay. En: Altesor A, Ayala W, Paruelo JM. (Eds.): *Bases*

- ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales (Serie FPTA-INIA n°26). Montevideo: INIA. 15-32.
- Lezama F, Altesor A, León R, Paruelo, JM. 2006. Heterogeneidad de la vegetación en pastizales naturales de la región basáltica del Uruguay. *Ecología Austral*. 16:167-182.
- Lezama F. 2005. Las comunidades herbáceas de un área de pastizales naturales de la región basáltica. Tesis PEDECIBA Biología. Montevideo, Uruguay. Facultad de Ciencias. 63p.
- Mcintyre S, Lavorel S. 2001. Livestock grazing in subtropical pastures : steps in the analysis of attribute response and plant functional types. *Journal of Ecology*. 89:209–226.
- McNaughton SJ. 1983. Compensatory Plant Growth as a Response to Herbivory. *Oikos*. 40:329–336.
- MAP (Ministerio de Agricultura y Pesca), Dirección de Suelos y Fertilizantes. 1979. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, clasificación de las unidades de suelos. Montevideo, Uruguay. 452p.
- Maraschin GE, Correa FL, Apezteguia ES, Boldrini II, Riboldi J. 1997. Native pasture, forage on offer and animal. En: XVIII International Grassland Congress. Winnipeg y Saskatoon, Canadá. 26–27.
- May H, Di Landro E, Álvarez C. 1990. Avances en la caracterización de sitios en el estudio integrado de pasturas naturales y suelos en la estancia Palleros. En: II Seminario Nacional de Campo Natural. Tacuarembó, Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. 11-34.
- Milchunas D, Lauenroth, W. 1993. Quantitative Effects of Grazing on Vegetation and Soils Over a Global Range of Environments. *Ecological Monographs*. 63(4). 327–366.
- Milchunas DG, Sala OE, Lauenroth WK. 1988. A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *The American Naturalist* 132:87–105.
- Millot JC. 1991. Manejo del pastoreo y su incidencia sobre la composición botánica y productividad del campo natural. En: Carámbula M, Vaz

- Martins D, Indarte E. (Eds.): Pasturas y Producción Animal en Áreas de Ganadería Extensiva (Serie técnica nº13). Montevideo: INIA. 277p.
- Millot JC, Risso D, Methol R. 1987. Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay. Montevideo: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. 199p.
- Monteith JL. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*. 9:747-766.
- Moreno CE. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, España: M&T- Manuales y Tesis SEA. vol.1. 84p.
- Nouvellon Y, Seen DL, Moran MS, Rambal S, Kerr Y, Bégué A, Qi J. 2000. Time Course of Radiation Use Efficiency in a Shortgrass Ecosystem: Consequences for Remotely Sensed Estimation of Primary Production. *Remote Sensing of Environment*. 71:43-55.
- Noy-meir I, Gutman M, Kaplan Y. 1989. Responses of Mediterranean Grassland Plants to Grazing and Protection. *Journal of Ecology*.77(1):290-310.
- Odum EP.1971. Ecología. México: Nueva Editorial Interamericana. 639p.
- Oosterheld M, Paruelo JM, Oyarzabal M. 2011. Estimación de la productividad primaria neta aérea a partir de diferencias de biomasa y de integración de la radiación absorbida. En: Altesor A, Ayala W, Paruelo JM. (Eds.): Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales (Serie FPTA-INIA nº26). Montevideo: INIA. 113-120.
- Olmos F, Franco J, Sosa M. 2005. Impacto de las prácticas de manejo en la productividad y diversidad de pasturas naturales. En: Risso D, Ayala W, Bermúdez R, Berretta EJ. (Eds.): Seminario de Actualización Técnica en Campo Natural (Serie técnica nº 151). Montevideo: INIA. 93-104.
- Olmos F, Godron, M. 1990. Relevamientos fito-ecológicos en el Noreste uruguayo. En: II Seminario Nacional de Campo Natural. Tacuarembó, Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. 35-48.

- Olmos F. 1990. Caracterización de comunidades naturales en la región Noreste. En: II Seminario Nacional de Campo Natural. Tacuarembó, Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. 11-18.
- Oyarzabal M, Oesterheld M, Grigera G. 2011. ¿Cómo estimar la eficiencia en el uso de la radiación mediante sensores remotos y cosechas de biomasa? En: Altesor A, Ayala W, Paruelo JM. (Eds.): Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales (Serie FPTA-INIA n°26). Montevideo: INIA. 234p.
- Panario D. 1988. Geomorfología del Uruguay. Montevideo: Departamento de Publicaciones, Facultad de Humanidades y Ciencias. Universidad de la República. 44p.
- Paruelo JM. 2008. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas*. 17(3): 4–22.
- Paruelo JM, Guerschman JP, Piñeiro G, Jobbágy EG, Verón SR, Baldi G, Baeza S. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia Uruguay*. 10:47–61.
- Perelman SB, Leon RJC, Oesterheld M. 2001. Cross-scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands. *Ecology*. 89(1989):562–577.
- Perelman SB, León RJC, Bussacca JP, Len RJC. 1997. Floristic Changes Related to Grazing Intensity in a Patagonian Shrub Steppe. *Ecography*. 20(4): 400–406.
- Piñeiro G. 2006. Biogeoquímica del carbono y nitrógeno en los pastizales pastoreados del Río de la Plata: Un análisis basado en modelos de simulación, sensores remotos y experimentos a campo. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Buenos Aires, Argentina. Escuela Para Graduados “Alberto Soriano”, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 148p.
- Roderick ML, Chewings V, Smith RCG. 2000. Remote Sensing in Vegetation and Animal Studies. En: t'Mannetje, L, Jones RM (Eds.): *Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. Cambridge: CABI Publishing. 205–226.

- Rodríguez C, Leoni E, Lezama F, Altesor A. 2003. Temporal trends in species composition and plant traits in natural grasslands in Uruguay. *Journal of Vegetation Science*. 14:433-440.
- Rosengurt B. 1979. Tablas de comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay. Montevideo: Dirección General de Extensión Universitaria. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 85p.
- Rosengurt B. 1946. Estudios sobre praderas naturales del Uruguay. Quinta contribución. Montevideo: Rosgal. 573p.
- Rosengurt B. 1944. Las formaciones campestres y herbáceas del Uruguay. Cuarta contribución. Montevideo: Agros N°134, 44p.
- Rosengurt B. 1943. Estudios sobre praderas naturales del Uruguay. Tercera contribución. Montevideo: Casa Barreiro y Ramos. 281p.
- Rusch G, Oesterheld M. 1997. Relationship between Productivity, and Species and Functional Group Diversity in Grazed and Non-Grazed Pampas Grassland. *Oikos*. 78(3):519–526.
- Sala O, Oesterheld M, León R, Soriano A. 1986. Grazing effects upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. *Vegetatio*. 67(1):27–32.
- Smith MD, Knapp AK. 2003. Dominant species maintain ecosystem function with non-random species loss. *Ecology Letters*. 6:509-517.
- Soares AB, Carvalho PC, Nabinger C, Trindade JPP, Trindade JKD, Mezzalana JC. 2011. Dinâmica da composição botânica numa pastagem natural sob efeito de diferentes ofertas de forragem. *Ciência Rural*. 41(8):1459–1465.
- Soca P, Do Carmo M, Urchipia A, Claramunt M. 2011. Variabilidad espacial y temporal de la producción primaria neta aérea como determinante de la producción ganadera: experiencias locales. En: Altesor A, Ayala W, Paruelo JM. (Eds.): Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales (Serie FPTA-INIA n°26). Montevideo: INIA. 234p

- Soriano A. 1991. Rio de Plata Grasslands. En: Coupland, RT. (Ed): Natural Grasslands: Introduction and Western Hemisphere. Ecosystems of the World. Amsterdam: Elsevier. 367-407.
- Sosinsky E, Pillar V. 2004. Respostas de tipos funcionais de plantas à intensidade de pastejo em vegetação campestre. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 39(1):1-9.
- t Mannelje L, Jones RM. 2000. Grassland Vegetation and its Measurement. En: t'Mannelje, L, Jones RM (Eds.): Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research. Cambridge: CABI Publishing.1-8.
- Urban D L, Neill RVO, Shugart HH. 1987. Ecology Landscape spatial patterns. BioScience. 37(2):119-127.
- Walker BH. 1992. Biodiversity and Ecological Redundancy. Conservation Biology. 6(1):18-23.
- Westoby M, Walker B, Noy-Meir I. 1989. Opportunistic Management for Rangelands Not at Equilibrium. Journal of Range Management. 42(4):266-274.
- Wilson A, Macleod N. 1991. Overgrazing: Present or Absent? Journal of Range Management. 44(5):475-482.

7. ANEXOS

Influencia del manejo ganadero en la producción primaria neta aérea y el coeficiente EUR de un pastizal natural sobre los suelos profundos de Basalto¹

Basile, Patricia²; Formoso, Daniel³; Blumetto, Oscar³

²: Universidad de la República, Sede Tacuarembó

³: INIA Las Brujas

patricia.basile@cut.edu.uy

Resumen

En las pasturas naturales de la región Basáltica el manejo del pastoreo con carga continua se ha usado históricamente trayendo como consecuencia su deterioro. Tradicionalmente la productividad primaria neta aérea de las pasturas (PPNA) se ha estimado a partir de cortes de biomasa realizados a campo. Hoy en día es posible estimar la PPNA mediante sensoramiento remoto utilizando imágenes sintéticas de índice de vegetación mejorado. Los objetivos del trabajo fueron determinar el efecto del manejo histórico del pastoreo en la producción de forraje y en el coeficiente de eficiencia de uso de la radiación (EUR) de la comunidad vegetal de suelos profundos de Basalto y determinar su variabilidad estacional. El trabajo se realizó en cinco predios de Basalto cuya base forrajera es el campo natural entre la primavera 2013 y el verano 2015. En cada predio se eligieron dos potreros con manejo ganadero histórico contrastante llamados: ajuste de carga y carga controlada. Se realizaron mediciones del crecimiento de la vegetación mediante la técnica del rebrote utilizando tres jaulas de exclusión por potrero. El coeficiente EUR se estimó a partir de la radiación absoluta

¹ El artículo se publicará en la revista Agrocienza Uruguay

absorbida por la planta (RFAA) y la (PPNA) siguiendo la ecuación: $EUR = PPNA / (RFAA \times 10)$.

Palabras clave: campo natural, degradación, basalto, manejo ganadero.

Summary

In the natural pastures of the basaltic region, livestock management is applied traditionally associated with continuous high loads resulting in the degradation of natural grasslands. Traditionally, aboveground net primary production (ANPP) was estimated from biomass cuts made at the fields. Today, it's possible to estimate ANPP using remote sensing techniques by synthetic images of enhanced vegetation index (EVI). Taking all these into consideration, we set as aims of this work: a) to estimate RUE and its seasonal variation and b) determine the ANPP for two contrasting grazing methods. The work was done in five farms in the Basaltic region with mixed grazing under natural grasslands between spring 2013 and summer 2015. In each site two paddocks with contrasting livestock management were chosen: stocking rate adjustment and controlled stocking rate. Measurements of vegetation growth were performed using the technique of re-growth with three exclusion cages. RUE coefficient was estimated following the equation: $ANPP = APAR \times RUE$. Where APAR is the absorbed photosynthetically active radiation and ANPP is the aboveground net primary production.

Keywords: natural grasslands, degradation, Basaltic region, grazing management.

Introducción

El manejo de carga continua es aplicado con alta frecuencia en pasturas naturales (Allen et al., 2011) y se ha usado tradicionalmente en la región Basáltica uruguaya, trayendo

como consecuencia un deterioro del tapiz natural (Berretta, 2005). Este deterioro de la pastura es provocado por el sobrepastoreo que a su vez es causado por pastoreos intensos, con altas cargas, altas relaciones ovino/bovino, períodos prolongados de ocupación y períodos cortos de descanso (Berretta, 2005, Cingolani et al., 2005, Soares et al., 2011).

La implementación de pastoreos controlados donde se puede ajustar el tiempo de pastoreo y la intensidad de defoliación permite mitigar el proceso de degradación del campo natural y en ocasiones podría revertirlo (Rodríguez et al., 2003). Tradicionalmente la productividad de las pasturas (PPNA), es decir la cantidad de biomasa que se acumula por unidad de superficie, se estimaba a partir de cortes de biomasa realizados a campo. Hoy en día es posible estimar la PPNA mediante sensoramiento remoto utilizando imágenes sintéticas de índice de vegetación mejorado que detectan la fracción de la radiación fotosintéticamente activa que es absorbida por las plantas (fRFA). Esta metodología, permite cubrir áreas más grandes y lograr con facilidad mediciones repetidas en el tiempo de un mismo lugar (Piñeiro et al., 2006). Para convertir la fRFA en PPNA es necesario tener en cuenta la eficiencia con la cual las plantas transforman la radiación en biomasa que es el coeficiente de eficiencia de uso de la radiación (EUR) (Monteith, 1972). Este coeficiente es afectado por factores ambientales como la temperatura y la precipitación y por la composición florística por lo que sería afectado por el manejo ganadero aplicado (Piñeiro et al., 2006, Oyarzabal et al., 2011).

Los objetivos del trabajo fueron determinar el efecto del manejo histórico del pastoreo en la producción primaria neta aérea y en el coeficiente de eficiencia de uso de la radiación (EUR) de la comunidad vegetal de suelos profundos de Basalto y determinar la variabilidad estacional del EUR.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó sobre cinco predios de productores ganaderos con pastoreo mixto (ovinos/bovinos) cuya base forrajera es el campo natural entre la primavera 2013 y el verano 2015 (Cuadro 1). Están ubicados en los departamentos de Tacuarembó y Salto, sobre la región geomorfológica Cuesta Basáltica (Panario, 1988).

Cuadro 1. Principales características de los predios en estudio.

Predio	Coordenadas geográficas	Superficie (ha)	Sistema de producción	Carga animal
				UG ha ⁻¹
A	31°39'21.91" S/ 56°31'39.50" O	462	Ciclo completo	0,64
B	32°35'20.69" S/ 56°07'21.75" O	2200	Ciclo completo	0,79
C	31°20'39.34" S/ 56°34'22.94" O	174	Cría	1
D	31°15'08.80" S/ 56°28'21.00" O	441	Cría	0,55
E	31°37'34.52" S/ 56°27'04.15" O	1200	Ciclo completo	0,75

UG: unidad ganadera

En cada predio, se evaluó el efecto del cambio en el manejo del pastoreo de potreros con una historia de pastoreo continuo y con altas cargas y el efecto del manejo del pastoreo continuo y con cargas bajas a lo largo del tiempo. Por lo tanto, en cada predio y considerando la opinión de los productores, se eligieron dos potreros que tuvieran una historia de manejo ganadero contrastante, uno llamado cambio de manejo con ajuste de carga (AC) con una historia de pastoreo continuo y carga animal de 1-1,1 UG/ha y otro llamado carga controlada (CC) con una historia de pastoreo continuo con carga animal de 0,69-0,8UG/ha. Durante el estudio, a los potreros llamados AC se les realizó un cambio en el

manejo del pastoreo que implicó una disminución en la carga animal a 0,8 UG/ha mientras que a los potreros llamados CC se les mantuvo el manejo del pastoreo que tenían.

La unidad de estudio fue la comunidad vegetal de suelos profundos dentro de cada potrero (Lezama et al., 2006).

Mediciones

Producción primaria neta aérea y coeficiente EUR

La PPNA se determinó mediante la técnica del rebrote utilizando tres jaulas móviles de 1 m² por potrero, instaladas con homogenización previa de la vegetación a 1 cm de altura. La cosecha del rebrote se realizó cada 45-55 días en dos cuadros de 0,5 x 0,2 cm con tijeras de esquilar y una altura de rastrojo de 1 cm (Gardner, 1986). El material cosechado fue secado en estufa de aire forzado a 60°C. El coeficiente EUR se estimó a partir de la radiación absoluta absorbida por la planta (RFAA) y la productividad primaria neta aérea (PPNA) siguiendo la ecuación de Monteith (1972): $EUR = PPNA / (RFAA \times 10)$. La RFAA se calculó a partir de la fRFA obtenida de imágenes sintéticas de índice de vegetación mejorado (resolución espacial 250 x 250m, U.S Geological Survey) y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) calculada a partir de la radiación de las estaciones agroclimáticas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Se utilizó la siguiente ecuación:

$$RFAA = fRFA \times RFA$$

Análisis estadístico

A partir de los datos de producción primaria neta aérea se calcularon las tasas de crecimiento diarias promedio para cada predio y tratamiento. Las tasas de crecimiento se analizaron a partir de un ANAVA utilizando la prueba LSD de Fisher para comparar las

diferencias entre las medias de los tratamientos al inicio del estudio. Luego se calcularon las tasas de crecimiento estacionales para cada tratamiento y se analizaron a través de un ANAVA utilizando la prueba LSD de Fisher para comparar el efecto de cada tratamiento por separado a lo largo del tiempo. También se calcularon las tasas de crecimiento diarias promedio al inicio (primavera 2013-verano 2014) y al final del estudio (primavera 2014-verano 2015) por separado y se realizó un ANAVA utilizando la prueba LSD de Fisher para comparar la diferencia entre las medias de los dos tratamientos en los dos momentos. Para la realización de estos análisis se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2014).

Los datos del coeficiente EUR obtenidos para el total del período evaluado y de todos los predios y tratamientos se agruparon según la estación y el año para poder evaluar la variabilidad estacional existente. Para esto, los datos fueron analizados a partir de un ANAVA para comparar la diferencia entre las medias para cada estación y año. Luego, se realizó un ANAVA para cada tratamiento por separado para comparar la diferencia entre las medias al inicio (primavera 2013-verano 2014) y al final del estudio (primavera 2014-verano 2015). Por último, a partir de los datos del coeficiente EUR obtenidos al inicio del estudio se realizó un ANAVA para comprar la diferencia entre las medias de los dos tratamientos. Para todas las comparaciones se utilizó la prueba LSD de Fisher y los análisis se realizaron a partir del software InfoStat (Di Rienzo et al., 2014)

Resultados

Producción primaria neta aérea

Tanto en el tratamiento CC como en el tratamiento AC, los valores de PPNA obtenidos mostraron una variación estacional con diferencias estadísticamente significativas

($p < 0,05$) (Figura 1 A y B). En el tratamiento CC, los valores más altos de PPNA se registraron durante el verano 2015 (2,88 gMS.m2.día-1) y la primavera 2014 (2,46 gMS.m2.día-1) mientras que los valores mínimos se obtuvieron en los meses de invierno 2013 (0,72 gMS.m2.día-1), primavera 2013 (1,19 gMS.m2.día-1), otoño 2014 (1,38 gMS.m2.día-1) e invierno 2014 (1,26 gMS.m2.día-1)(Figura 1A). Con respecto al tratamiento AC, los valores máximos de PPNA se obtuvieron en el verano 2015 (3,25 gMS.m2.día-1) mientras que los valores mínimos se registraron en los meses de invierno 2013 (0,47 gMS.m2.día-1), primavera 2013 (0,79 gMS.m2.día-1) e invierno 2014 (0,78 gMS.m2.día-1)(Figura 1B).

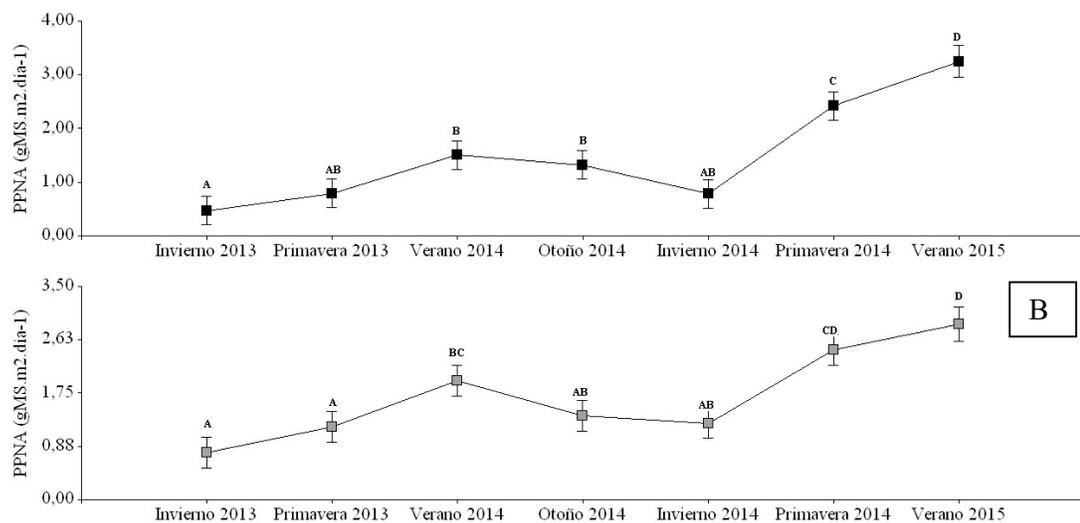


Figura 1. Variación estacional de la PPNA promedio según tratamiento. A: tratamiento CC; B: tratamiento AC. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Además, los valores obtenidos al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2014) fueron significativamente diferentes de los obtenidos al final del estudio (primavera 2014-verano 2015), tanto en el tratamiento CC (1,57 gMS.m2.día-1 vs 2,64 gMS.m2.día-1,

$p < 0,05$) (Figura 2A) como en el tratamiento AC (1,15 gMS.m².día⁻¹ vs 2,79 gMS.m².día⁻¹, $p < 0,05$) (Figura 2B).

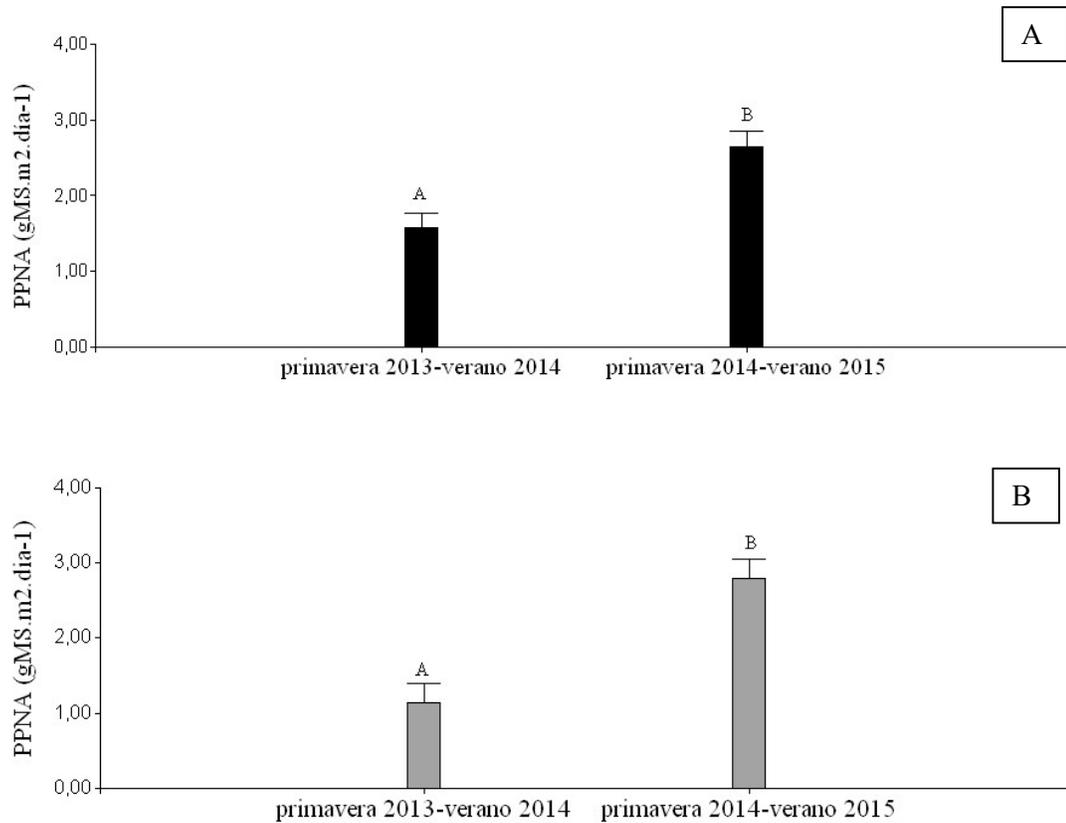


Figura 2. PPNA promedio al inicio (primavera 2013-verano 2014) y al final (primavera 2014-verano 2015) del estudio según tratamiento. A: tratamiento CC; B: tratamiento AC. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Si se comparan los valores de PPNA promedios obtenidos al inicio del período en estudio (invierno y primavera 2013) se puede observar que no hubo diferencias

estadísticamente significativas entre los dos tratamientos evaluados (1,15 gMS.m2.día-1 vs 1,57 gMS.m2.día-1, $p > 0,05$)(Figura 3).

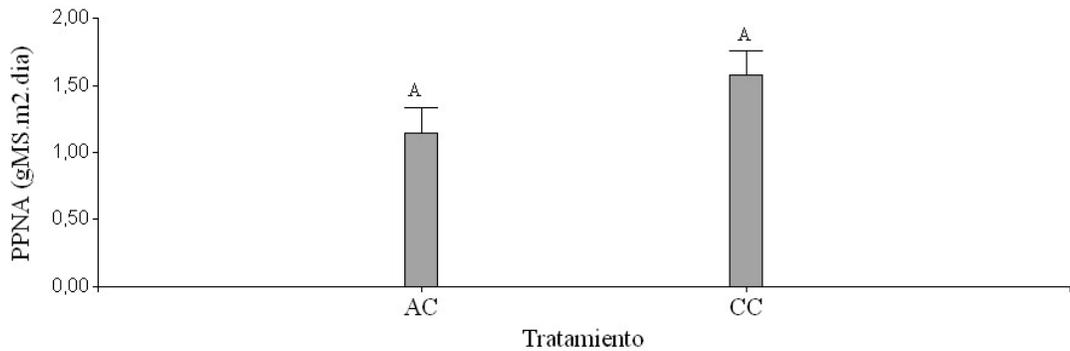


Figura 3. PPNA promedio al inicio del estudio (invierno 2013- primavera 2013) según tratamiento. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Coefficiente EUR

Los valores del coeficiente EUR obtenidos en el total del período y para los dos tratamientos mostraron una variación estacional con una media de 0,41 g.MJ-1 y un valor máximo obtenido durante los meses de primavera 2014 (0,62 g.MJ-1, $p < 0,05$)(Figura 4). Además, el coeficiente EUR mostró tener una variación anual dado que los valores obtenidos durante el segundo año (primavera 2014 y verano 2015) fueron superiores a los obtenidos durante el primer año en los meses de primavera 2013 y verano 2014 (0,25 y 0,37 g.MJ-1 vs. 0,62 y 0,51 g.MJ-1, $p < 0,05$)(Figura 4).

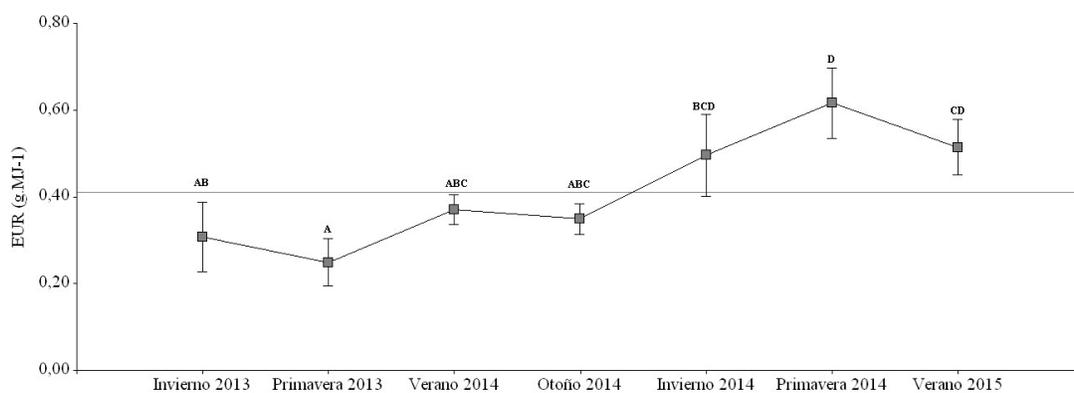


Figura 4. Variación estacional del coeficiente EUR promedio para el total de predios y tratamientos. Cada valor corresponde a la media para cada estación. La línea recta indica la media general (n=48). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Los valores del coeficiente EUR obtenidos al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2014) fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) de los obtenidos al final del estudio (primavera 2014-verano 2015) para los tratamientos AC y CC cuando se comparan los resultados obtenidos dentro de cada tratamiento por separado (Figura 5 A y B). Los valores de EUR obtenidos al final del estudio fueron superiores a los obtenidos al inicio tanto en el tratamiento CC (0,39 g.MJ-1 vs 0,61 g.MJ-1) como en el tratamiento AC (0,22 g.MJ-1 vs 0,53 g.MJ-1) (Figura 5 A y B).

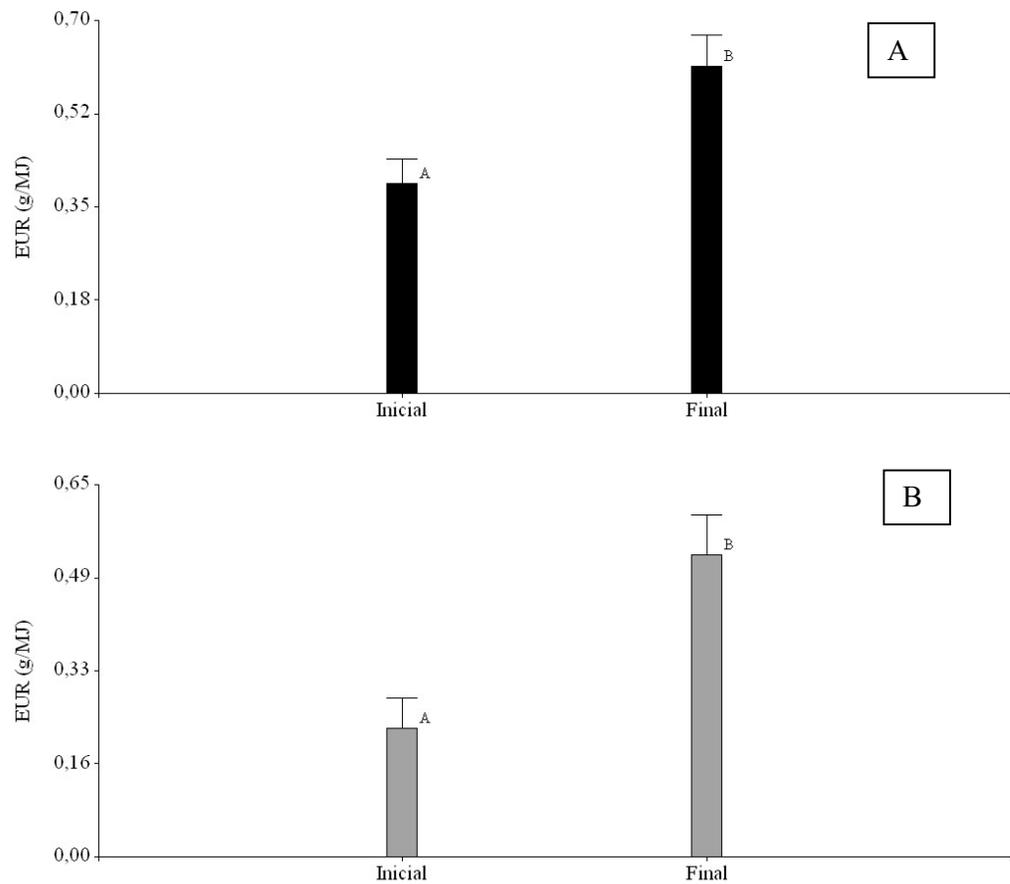


Figura 5. Coeficiente EUR promedio al inicio primavera 2013-verano 2014) y al final (primavera 2014-verano 2015) del estudio según tratamiento. A: tratamiento CC; B: tratamiento AC. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Por otro lado, cuando se comparan los valores de EUR obtenidos en los dos tratamientos al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2014) se observa que el valor promedio del coeficiente EUR de los potreros con tratamiento AC fue diferente del valor obtenido en el potrero CC (0,22 vs 0,39, $p < 0,05$)(Tabla 2).

Tabla 2. Coeficiente EUR promedio al inicio del estudio (primavera 2013-verano 2014) según tratamiento.

	Tratamiento	
	Ajuste de Carga	Carga Controlada
Media	0,22 ± 0,04 A	0,39 ± 0,04 B

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

Discusión

Los valores de PPNA obtenidos son similares a los reportados por Berreta et al., (2001) en campos naturales sobre suelos profundos de Basalto en años con excesos hídricos, con picos máximos en los meses de verano y mínimos en invierno. Los valores de la RFAA tuvieron una variación estacional similar a la de la PPNA con picos máximos en los meses de verano y mínimos durante los meses de invierno. Los picos máximos registrados durante los meses estivales estarían asociados a los momentos con mayor RFAA y podrían deberse a la composición florística de los potreros que estuvo compuesta principalmente por especies gramíneas de metabolismo C4 (Grigera et al., 2007, Guido et al., 2014).

Los mayores valores de PPNA obtenidos al final del estudio, durante la primavera 2014 y verano 2015, dentro de cada tratamiento estarían asociados al efecto año dado principalmente por las precipitaciones y las temperaturas por encima de la media anual que se registraron durante los años en los cuales se desarrolló el estudio.

Los valores obtenidos del coeficiente EUR son similares a los obtenidos por Oyarzabal et al., (2011) en campos naturales sobre suelos profundos de Basalto (0,3-1 g.MJ-1) pero superiores a los publicados por Baeza et al., (2010) también en campos de Basalto (0,1-0,3 g.MJ-1). A nivel estacional, los valores obtenidos mostraron una variación en el coeficiente EUR con valores máximos en los meses de primavera y verano y mínimos en invierno. Esta variación estacional del coeficiente EUR, ha sido reportada por otros autores, aunque con valores máximos en invierno y mínimos en verano (Piñeiro et al., 2006, Oyarzábal et al., 2011). De acuerdo con estos autores, las precipitaciones (positivamente) y la temperatura (negativamente) son las principales variables que afectan el coeficiente EUR. Esto implica que durante los meses de verano en los cuales se registran altas temperaturas y períodos de déficits hídricos los valores de EUR tengan valores mínimos. El hecho de que los resultados obtenidos en este trabajo en cuanto a la variación estacional del EUR sean contrarios a los reportados por estos autores con picos máximos en verano estaría asociado a las condiciones climáticas que se registraron durante el período evaluado con precipitaciones por encima de la media anual. Las condiciones ambientales favorables no solo permitieron que se registraran valores máximos de EUR en los meses de verano sino que los valores de este coeficiente que se obtuvieron al final del estudio fueran superiores a los obtenidos al inicio para todos los potreros y tratamientos.

Sin embargo, es importante destacar que los valores de EUR aquí presentados podrían tener un alto grado de error de predicción dado por la diferencia de tamaño entre los sitios en los cuales se determinó la PPNA (jaulas de exclusión de 1m²) y los píxeles MODIS (aproximadamente 6 ha) a partir de los cuales se obtuvieron los datos de RFAA. Oesteherd et al., (2011) plantean que el uso de jaulas de exclusión para estimar la productividad de las

pasturas sometidas a pastoreo continuo no sería el método más adecuado dado que no solo representan un área mucho menor a la de los satélites sino que además no consideran el efecto del pastoreo en la vegetación. No obstante, en situaciones donde el manejo del pastoreo se realiza con carga continua es imprescindible el uso de las jaulas de exclusión para determinar la productividad (Oesterheld et al., 2011).

Dado que al momento de iniciar este trabajo no se mantuvo ningún potrero dentro de cada predio con un manejo ganadero con pastoreo continuo y altas cargas a modo de tratamiento testigo no fue posible evaluar el efecto del manejo ganadero en la a, PPNA y coeficiente EUR entre los dos tratamientos salvo al inicio del estudio. En este sentido, la comparación de los tratamientos AC y CC al inicio del estudio mostró diferencias en cuanto al coeficiente EUR sin diferencias en cuanto a la PPNA. De esta forma, el coeficiente EUR fue mayor en los potreros con tratamiento CC que en los que tuvieron tratamiento AC. Esta diferencia en el coeficiente EUR entre los tratamientos podría deberse a las diferencias en la diversidad de las comunidades de suelos profundos de Basalto de los dos tratamientos que implicarían diferencias en la composición florística tal como lo reportan Nouvellon et al., (2000).

Conclusiones

Se registraron cambios en la composición florística, PPNA y en el coeficiente EUR a lo largo del estudio en los dos tratamientos que estuvieron asociados principalmente a las precipitaciones y temperaturas por encima de la media anual que registradas durante el período evaluado. Dado que no se mantuvo un tratamiento con manejo del pastoreo intenso a modo de testigo no fue posible realizar comparaciones entre los tratamientos. Los datos de

EUR obtenidos servirán para poder estimar con mayor precisión la PPNA en pastizales naturales sobre suelos profundos de la región Basáltica.

Bibliografía

- Allen VG, Batello C, Berretta EJ, Hodgson J, Kothmann M, Li X, Sanderson M. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*. 66(1): 2–28.
- Baeza S, Lezama F, Piñeiro G, Altesor A, Paruelo JM. 2010. Spatial variability of above-ground net primary production in Uruguayan grasslands: A remote sensing approach. *Applied Vegetation Science*. 13(1):72–85.
- Berretta EJ. 2005. Producción y manejo de la defoliación en campos naturales de Basalto. En: Risso D, Ayala W, Bermúdez R, Berretta EJ. (Eds.): Seminario de Actualización Técnica en Campo Natural (Serie técnica nº 151). Montevideo: INIA. 61-74.
- Cingolani AM, Noy-meir I, Díaz S. 2005. Grazing Effects on Rangeland Diversity: a Synthesis of Contemporary Models. *Ecological Applications*. 15(2):757–773.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat. Córdoba, Argentina. FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- Gardner AL. 1986. Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção. INCA/EMBRAPA. v. 1. 197pp.
- Grigera G, Oesterheld M, Pacín F. 2007. Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems*. 94(3):637–648
- Guido A, Varela RD, Baldassini P, Paruelo J. 2014. Spatial and Temporal Variability in Aboveground Net Primary Production of Uruguayan Grasslands. *Rangeland Ecology & Management*. 67(1):30–38.
- Lezama F, Altesor A, León R, Paruelo, JM. 2006. Heterogeneidad de la vegetación en pastizales naturales de la región basáltica del Uruguay. *Ecología Austral*. 16:167-182.

- Monteith JL. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*. 9:747-766.
- Nouvellon Y, Seen DL, Moran MS, Rambal S, Kerr Y, Bégué A, Qi J. 2000. Time Course of Radiation Use Efficiency in a Shortgrass Ecosystem: Consequences for Remotely Sensed Estimation of Primary Production. *Remote Sensing of Environment*. 71:43–55.
- Oesterheld M, Paruelo JM, Oyarzabal M. 2011. Estimación de la productividad primaria neta aérea a partir de diferencias de biomasa y de integración de la radiación absorbida. En: Altesor A, Ayala W, Paruelo JM. (Eds.): Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales (Serie FPTA-INIA n°26). Montevideo: INIA. 113-120.
- Oyarzabal M, Oesterheld M, Grigera G. 2011. ¿Cómo estimar la eficiencia en el uso de la radiación mediante sensores remotos y cosechas de biomasa? En: Altesor A, Ayala W, Paruelo JM. (Eds.): Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales (Serie FPTA-INIA n°26). Montevideo: INIA. 234p.
- Panario D. 1988. Geomorfología del Uruguay. Departamento de Publicaciones, Facultad de Humanidades y Ciencias. Universidad de la República. Montevideo. 44p.
- Piñeiro G. 2006. Biogeoquímica del carbono y nitrógeno en los pastizales pastoreados del Río de la Plata: Un análisis basado en modelos de simulación, sensores remotos y experimentos a campo. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Buenos Aires, Argentina. Escuela Para Graduados "Alberto Soriano", Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 148p.
- Rodríguez C, Leoni E, Lezama F, Altesor A. 2003. Temporal trends in species composition and plant traits in natural grasslands in Uruguay. *Journal of Vegetation Science*. 14:433-440.
- Soares AB, Carvalho PC, Nabinger C, Trindade JPP, Trindade JKD, Mezzalira JC. 2011. Dinâmica da composição botânica numa pastagem natural sob efeito de diferentes ofertas de forragem. *Ciência Rural*. 41(8):1459–1465.