

Análisis de la dinámica temporal de la eficiencia en el uso de la radiación de tres comunidades de centro sur de Corrientes, Argentina

Trabajo final presentado para optar al título de Especialista en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

Maidana Carlos Emilio

Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Nordeste 2017

Lugar de trabajo: EEA INTA Mercedes

Defensa: 26-05-2021



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires

TUTOR:

Carlos Marcelo Di Bella

Ingeniero Agrónomo – Universidad de Buenos Aires

Doctor del Institut National Agronomique Paris-Grignon

Jurado

Martín Garbulsky

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires 1996)

Doctor en Ecología Terrestre (Universitat Autònoma de Barcelona 2010)

Jurado

Nombre/s y apellido/s

Gabriela Cordon

Licenciada en Análisis Ambiental. (Universidad Nacional de San Martín 2005)

Doctora de la Universidad de Buenos Aires. Área: Química Inorgánica. Analítica y Química

Física. 2010

Fecha de defensa del Trabajo Final: DD de MES de YYYY

*A mi abuelo Carlos,
quien siempre formará parte de todos mis logros*

Agradecimientos

A mi director, Carlos Di Bella, no solo por su dedicación y paciencia en la dirección de este trabajo, sino también por todo lo que me ha enseñado a lo largo de esta especialización con la simpatía y el carisma que lo caracteriza; a Diego Bendersky, quien me ha introducido en el mundo de la teledetección y por toda la ayuda que me ha brindado en el análisis de datos, en la revisión del proyecto y la respuesta a consultas; A Julieta por todo el apoyo y ayuda durante este año tan raro; Al grupo de pasturas de INTA Mercedes, por el apoyo que siempre me han brindado y por permitirme usar los datos de años y años de cortes de jaulas; A mi familia, quienes siempre me apoyaron en todos mis proyectos; a mi hermanita quien con esfuerzo y una paciencia desmedida trato de enseñarme a escribir.

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Índice de contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
Objetivos	15
Materiales y Métodos	16
Área de estudio.....	16
Estimación de la PPNA y APAR	18
Análisis de la información.....	21
Resultados y Discusión.....	22
Conclusión.....	31
Bibliografía	32
Apéndice.....	37

Índice de figuras y tablas

Figura 1	16
Figura 2	19
Figura 3	19
Figura 4	23
Figura 5	25
Figura 6	26
Figura 7	27
Figura 8	29
Figura 9	30
Tabla 1	20

Abreviaturas

GPM	Global Precipitation Measurement
NOAA	National Atmospheric and Oceanic Administration
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
fAPAR	Fraction of Absorbed Radiation Photosynthetically Active
IVN	Indice de Vegetacion Normalizado
EUR	Eficiencia en el Uso de Radiación
RUE	Radiation Use Efficiency
PPNA	Productividad Primaria Neta Aérea
PAR	Photosynthetically Active Radiation
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
EVI	Enhanced Vegetation Index
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
PRI	Photochemical Reflectance Index
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
NASA	National Aeronautics and Space Administration
API	Application Programming Interface
APAR	Absorbed Photosynthetically Active Radiation
ANOVA	Análisis de la varianza
CV	Coeficiente de Variación
MO	Materia Orgánica

Resumen

Los modelos radiativos para estimar la productividad se basan principalmente en tres factores: radiación incidente, fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por los tejidos verdes (fAPARg) y eficiencia en el uso de la radiación (EUR). Este último, es generalmente el factor menos estudiado y debido a su gran variabilidad espacial y temporal, el que requiere mayor cantidad de calibraciones para obtener niveles aceptables de exactitud. El objetivo de este trabajo fue calcular la eficiencia en el uso de la radiación, su dinámica temporal y su relación con la disponibilidad de agua para tres comunidades de pastizales en Corrientes. Se calcularon las eficiencias en el uso de la radiación siguiendo dos abordajes: mediante regresión lineal y por relación simple. Para determinar el fAPARg se utilizaron los productos de índice de vegetación normalizada provistos por el satélite MODIS. La estimación de productividad primaria neta aérea (PPNA) fue realizada por medio de cortes de biomasa. La máxima eficiencia la presentaron los pastos cortos, seguida por el pajonal y la menor el flechillar; 0.85, 0.64 y 0.57 g MS/MJ respectivamente. Todas las comunidades presentaron grandes variaciones inter e intra anuales. Los pastos cortos fueron los más variable (1.14 a 0.47 g MS/MJ). La disponibilidad de agua afectó de manera distinta a las tres comunidades. Los pajonales no mostraron variaciones, los flechillares presentaron una mayor EUR en años secos (0.67g MS/MJ) y los pastos cortos demostró ser más eficiente en años normales (0.91g MS/MJ). Este trabajo contribuye a mejorar las estimaciones de PPNA mediante información espectral captada por distintas plataformas satelitales, al considerar las variaciones en la EUR, lo cual mejoró más del 24% la precisión en su estimación, particularmente en años secos.

Abstract

Radiation models for estimating productivity are mainly based on three factors: incident radiation, fraction of photosynthetically active radiation absorbed by green tissues (fAPAR_g) and radiation use efficiency (EUR). The latter is generally the least studied factor and, due to its great spatial and temporal variability, the one that requires the greatest amount of calibrations to obtain acceptable levels of accuracy. The objective of this work was to calculate the radiation use efficiency, its temporal dynamics and its relationship with water availability for three grassland communities in Corrientes. Radiation use efficiencies were calculated following two approaches: by linear regression and by simple relationship. Normalized vegetation index products provided by the MODIS satellite were used to determine fAPAR_g. The estimation of net aerial primary productivity (NAPP) was carried out by means of biomass cuttings. The highest efficiency was presented by short grasses, followed by grassland and the lowest by timothy; 0.85, 0.64 and 0.57 g DM/MJ respectively. All communities showed large inter- and intra-annual variations. Short grasses were the most variable (1.14 to 0.47 g DM/MJ). Water availability affected the three communities differently. The grasslands did not show variations, the timothy showed a higher EUR in dry years (0.67 g DM/MJ) and the short grasses proved to be more efficient in normal years (0.91 g DM/MJ). This work contributes to improve PPNA estimates using spectral information captured by different satellite platforms, by considering variations in EUR, which improved the accuracy of its estimation by more than 24%, particularly in dry years.

I. Introducción

La productividad primaria neta aérea (PPNA), es un integrador de varios aspectos del funcionamiento del ecosistema (McNaughton, 1983b). Por un lado, determina el nivel de provisiones de muchos de los servicios que estos prestan (Costanza et al., 1997). En áreas destinadas al pastoreo, la capacidad de carga varía juntamente con la distribución temporal y espacial de dicha productividad. Asimismo, el 80% de la energía requerida por el ganado doméstico proviene de la PPNA de los pastizales y humedales del mundo (Wheeler et al., 1981; Oltjen & Beckett, 1996). Estos, cubren aproximadamente el 25% de la superficie terrestre (Alkemade et al., 2013) y proveen de bienes y servicios a aproximadamente 2 billones de personas (Sala et al., 2017). A su vez, la PPNA, presentan una relación directa con riqueza y biodiversidad (López Mársico & Altesor, 2011) y son la base de la alimentación de aproximadamente la mitad de los herbívoros del planeta (Havstad et al., 2009). Todos estos son aspectos de vital importancia para la vida en nuestro planeta.

Uno de los modelos más utilizados para su estimación, es el planteado por Monteith (1979) que integra tres parámetros principales (Ecuación 1): 1. La radiación fotosintéticamente activa incidente (PAR, por sus siglas en inglés); 2. La fracción de esta radiación que es absorbida por los tejidos fotosintéticos (fAPARg) y 3. La eficiencia con la que la vegetación convierte esta energía en carbohidratos (EUR) (Ecuación 1). Existe mucha información disponible de PAR, ya sea de estaciones meteorológicas, sensores remotos o modelos. A su vez, la fAPARg puede ser estimada a partir de sensores remotos (Glenn et al., 2008; Running et al., 2000; Running et al., 2004), y existen varios modelos que relacionan este parámetro con distintos índices de vegetación (NDVI, EVI, SAVI) (Grigera et al., 2007; Pellegrini et al., 2020). Por último, la EUR, si bien hay algunos avances en su estimación por medio de sensores remotos (Garbulsky, 2011), es muy difícil de determinar y la mayoría de las estimaciones son realizadas de forma indirecta.

$$\text{Ecuación}^1 \text{ PPNA} = \text{PAR} * \text{FAPAR} * \text{EUR}$$

En general, las variaciones en la EUR se pueden agrupar en tres fuentes principales: 1. Genotipo, 2. Recursos disponibles y 3. Fenología (Druille et al., 2019). Se sabe que las especies C₄ en general presentan una mayor EUR que las especies C₃. Sin

embargo, también hay variación entre especies C₄ e incluso dos cultivares de una misma especie puede presentar variaciones superiores al 300% (Kiniry et al., 2012). Por otro lado, la variación de la EUR ocasionada por la disponibilidad de recursos está estrechamente relacionada con la redistribución de fotoasimilados (Cristiano et al., 2012). Finalmente, los cambios en la EUR ocasionados por la fenología son muy variables, y se relacionan con la disponibilidad de nutrientes, el destino de los fotoasimilados según la fase en la que se encuentre el cultivo y las tasas respiratorias (Druille et al., 2019).

La disponibilidad de recursos, afecta de forma transversal a la EUR y pueden ser agrupados en 3 fuentes: 1- Agua; 2- Nutrientes 3- Luz. En primer lugar, varios autores han encontrado cambios en la EUR con una mayor disponibilidad de agua. Se han observado un aumento de la EUR con una mayor disponibilidad de agua, sin embargo, los cambios más notorios fueron en la fAPAR. (Grigera and Oesterheld, 2020). Por su parte, Druille y colaboradores (2019) observaron que la EUR aumentó un 23% en los tratamientos regados en el metaanálisis realizado. Asimismo, se sabe que un estrés hídrico provoca una reducción del 16,8% en la EUR (Druille et al., 2019). En segundo lugar, los cambios por disponibilidad de nutrientes son muy variables y dependen mucho de los parámetros edafológicos, contenido hídrico y la vía fotosintética. En este sentido un aumento en el contenido de nitrógeno provoca un aumento promedio del 43% en plantas forrajeras (Druille et al., 2019) y un aumento del 55% en otros cultivos (Slattery et al., 2013). El fósforo, también ocasiona un aumento máximo del 36% en dosis bajas (Slattery et al., 2013). Finalmente, un aumento en la disponibilidad de luz, genera en plantas forrajeras un aumento del 23% en la EUR (Druille et al., 2019) y en otros cultivos de 18% (Slattery et al., 2013).

Hay muy poca información sobre la variación inter e intraanual de la EUR que presentan los pastizales. Estas pueden ser muy considerables. Además de una variación intrínseca por la fenología, también se han observado variaciones estacionales relacionadas con la temperatura y la precipitación (Piñeiro et al., 2006). Estas variaciones han sido documentadas por varios autores. Se han encontrado una variación del 40% debido a la variación ambiental interanual (Druille et al., 2019). Las variaciones intra anuales están menos claras, en pastizales húmedos, van entre 0.2 a 1.2 g MJ⁻¹, presentando una asociación positiva con la precipitación y negativa con la temperatura (Piñeiro et al., 2006).

En gran medida la falta de estimaciones de la EUR se debe a la dificultad en su determinación. Los métodos para hacerlo, puede clasificarse en dos grandes grupos según su forma. Por un lado, se pueden determinar de forma directa y por otro, de forma indirecta mediante el despeje del modelo transferencia radiativa de Monteith. De Forma directa, varios autores han encontrado una estrecha relación entre la eficiencia en el uso de la radiación y el índice de reflectancia fotoquímica (por su sigla en inglés, PRI) (Garbulsky, 2011; Glenn et al., 2008). Dicho índice, se relaciona con el ciclo de las xantofilas y nos da una idea de la cantidad de APAR disipada en forma de calor y no utilizada para la fotosíntesis (Gamon et al., 1997). El motivo por el cual este método no es muy difundido es por la falta de misiones con sensores ubicados en las longitudes de onda para la construcción de dicho índice (531-570). A su vez, las pocas misiones que lo poseen tienen una resolución espacial muy grosera, siendo difícil conseguir píxeles puros de los recursos en estudio.

En cambio, las determinaciones de forma indirecta son realizadas por determinaciones de fAPARg y cortes de biomasa. En primer lugar, se estima fAPARg, lo cual se puede realizar mediante la utilización de sensores remotos (Grigera et al., 2007; Pellegrini et al., 2020). A partir de allí, se pueden seguir dos abordajes: el primero, mediante relación simple entre la PPNA producida y la radiación absorbida en el mismo periodo (Oyarzabal et al., 2010). El segundo, mediante una regresión simple entre estas dos variables (Oyarzabal et al., 2010). Para esta determinación hay que tener varias consideraciones: por un lado, los datos de PPNA son difíciles de obtener (Sala & Austin, 2000). Por otro lado, si se utiliza el método de regresión simple, se podrá considerar la pendiente de dicha regresión solamente cuando la ordenada al origen no sea estadísticamente distinta de 0 (Verón et al., 2005).

Como fuera enunciado y debido a la enorme variabilidad de la EUR, presentar datos precisos de ella no es una tarea sencilla. En agricultura, la mayoría de los modelos de estimación de rendimiento se basan en la biomasa y la eficiencia de cosecha. En general, los datos de biomasa se podrían obtener a partir del modelo de Monteith siempre y cuando estén bien ajustados los valores de EUR. En ganadería, permitirá tener una mejor estimación de PPNA de los recursos forrajeros, parámetro clave para un correcto ajuste de carga. Lo que evitaría los problemas ocasionados por el sobre o sub- pastoreo por ejemplo (Aguiar & Paruelo, 2003; Golluscio, 2009). Asimismo, entender la dinámica estacional de dicho parámetro permitirá poder ajustar la estimación de la PPNA según la

estación de crecimiento. Por otro lado, saber cómo es afectada por la precipitación, permitirá poder hacer proyecciones y con ello una mejor gestión de los recursos. Dicha información se vuelve de vital importancia en un contexto de cambio climático, donde se especula un aumento en la cantidad e intensidad de las sequias (Meehl et al., 2007). Por lo tanto, estudiar y comprender lo antes dicho, nos permitirá contar con información de alta calidad y fácil acceso, pudiendo construir modelos adecuados que permitirán una ganadería y agricultura más precisas, más eficientes y por sobre todo más sustentables.

II. Objetivo General:

El objetivo general de este trabajo fue estudiar la dinámica inter e intra anual de la eficiencia del uso de la radiación de tres comunidades de Pastizales en el centro- sur de Corrientes.

II.1 Objetivos específicos:

- Determinar la Eficiencia en el uso de la Radiación (EUR) media de las tres comunidades de interés.
- Describir y estudiar la variación interanual de la EUR.
- Describir y estudiar la variación estacional de la EUR para las comunidades y su relación con las precipitaciones medias anuales.
- Describir y estudiar cambios en los valores de EUR generados por cambios en la precipitación media anual.

III. Materiales y Métodos

III.1. Área de estudio

- Ubicación

El trabajo fue llevado a cabo en la estación experimental agropecuaria (E.E.A.) del INTA, ubicada en la ciudad de Mercedes provincia de Corrientes (altitud de 29°12'14" S y longitud de 58°02'45"). La misma, se ubica dentro de la región ganadera denominada Centro Sur en la provincia de Corrientes, Argentina (Sampedro, 2018). Dicha región cubre el área de afloramientos rocosos y los campos con monte abierto de Ñandubay (Figura 1). Esta zona comprende los departamentos de Mercedes, Curuzú Cuatiá, parte de Paso de los Libres, Sauce y Monte Caseros (Sampedro, 2018).

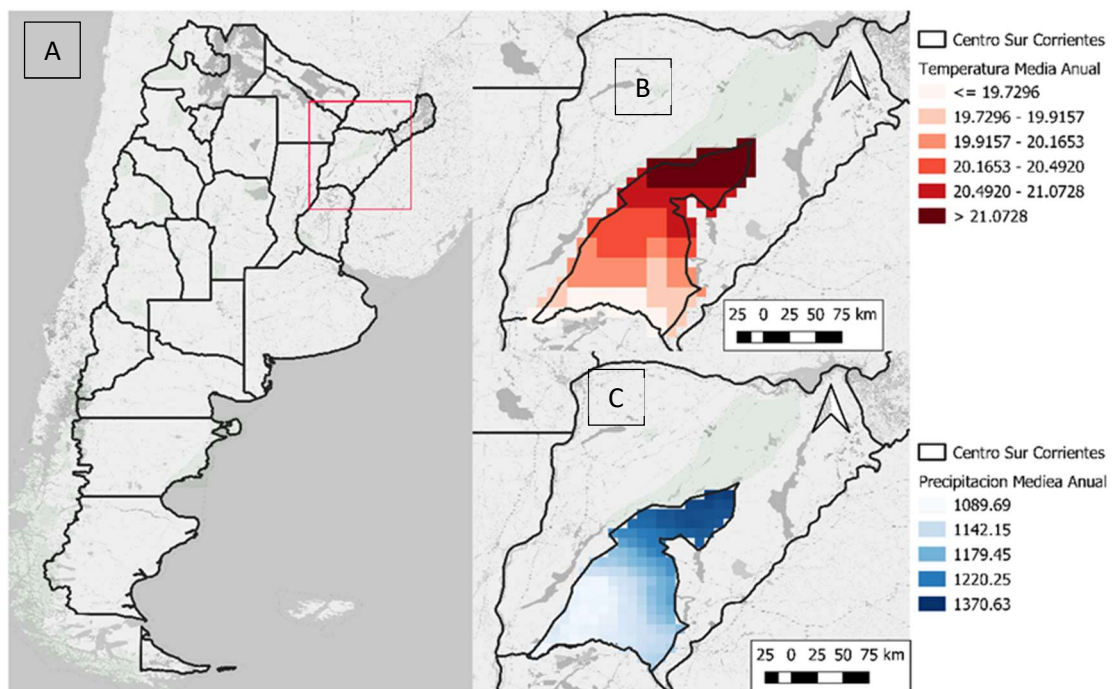


Figura 1. Mapa del área de estudio. A) Argentina, se destaca en rojo la provincia de Corrientes, provincia donde se llevó a cabo el trabajo. B) Se destaca en negro la región ganadera centro sur, lugar de interés para el desarrollo de este, temperatura media anual para la región de interés. C) Precipitación media anual para la región de interés. Fuentes: medias de temperaturas fueron obtenidas a partir de imágenes de NOAA (Saha, 2011) y las de precipitación a partir de imágenes GPM (Huffman et al., 2019).

- Clima

La región ha sido caracterizada como subtropical húmeda sin estación seca. Presenta una precipitación media anual de 1337 mm (Escalante & Fernandez, 2018). La misma, posee una alta variabilidad interanual que ha oscilado entre 758 y 2263 mm en

las últimas seis décadas. Si bien, como se ha mencionado antes, la región no presenta una estación seca la mayoría de las lluvias se dan en primavera y verano (850 mm). En general en invierno, las precipitaciones son bajas, pero no suelen ser limitantes (Arias Usandivaras, 2006). A su vez, estas son muy estables en el tiempo, a diferencia de las estivales que presentan una gran variabilidad (Escalante & Fernandez, 2018).

La temperatura media anual de la zona es de 21° C con medias mínimas de 14°C y máximas medias de 27°C (Escalante & Fernandez, 2018). Las temperaturas máximas, se dan en los meses de diciembre y enero con temperaturas que llegan a los 33°C. Las mínimas en los meses junio y julio con temperaturas mínimas de 8°C. En general, en promedio, presentan 7 días con heladas meteorológicas.

La región se caracteriza por presentar un gradiente de precipitación y temperatura. El cual, se desarrolla de Suroeste a Noreste (Figura 1). Donde se puede encontrar la región más fría y seca en el Suroestes y la más calida y húmeda en el Noreste. Presentando una media anual de precipitación aproximadamente 1100 mm y 19.5°C de temperatura en el primero, y 1350 mm y 21°C en el segundo.

- Caracateristicas edaficas

Lo suelos de la estacion experimental agropecuaria INTA Mercedes son 4. Por un lado, son brunizems hidromórficos en las crestas con pocas pendientes. En algunas lomadas y terrezas podemos encontrar planozoles. En las laderasa empinadas se encunetrar suelos arenosos con abundantes afloramientos. Finalmente, aluvionales en las llanuras inndables.

En general, son suelos de fertilidad media y todo presentan alguna limitante. Los suelos de mejor aptitud agricola fueron los brunizems hidromórficos, en segundo lugar los planosoles, seguidos por los aluvionales y siendo los de menor aptitud los suelos arenosos. Las comunidades evaluadas en este trabajo se encontraron denrto de los brunizems hidromorficos, planosoles y arenosos con abundantes afloramientos.

- Vegetación

Los pastizales de la región se caracterizan por presentarse en forma de mosaico, donde pastos de porte decumbente son interrumpidos por pastos de porte erecto. Asimismo, se pueden identificar 3 comunidades: los flechillares, los pastos cortos y los pajonales (Sampedro, 2018). Cada una de estas comunidades se caracterizan por presentar características estructurales y funcionales distintas

Los flechillares se encuentran en regiones dominadas por pastos cortos duros, se pueden observar especies como *Aristida venustula*, *Aristida jubata*, acompañados por *Rhynchospora praecinta* y *Sporobolus indicus*, entre otras (Sampedro, 2018) (Figura 2). Esta comunidad, en la experimental, se las ve asociada a suelos arenosos, someros y con abundantes afloramientos rocosos. Comprende la serie *Amadey*, generalmente litosoles muy ácidos, con baja capacidad de cambio y un complejo de intercambio poco saturado.

Los pastos cortos, son regiones dominadas por gramíneas de porte decumbentes. Dicha comunidad, a diferencia de los flechillares, es de muy buena calidad. Las especies principales que dominan estas comunidades son *Paspalum notatum*, *Paspalum alium*, *Paspalum dilatatum* y *Sporobolus indicus* (Sampedro, 2018) (Figura 2). Esta comunidad, se encuentra más asociada a planosoles profundos, sobre todo la serie *Ita Cáabo*. La cual, se caracteriza por presentar un horizonte A de 20-30cm, un horizonte de acumulación de cal y un cambio textural muy fuerte entre los horizontes A y B.

Los pajonales se caracterizan por presentar una calidad baja y un crecimiento explosivo, por lo que suelen encañarse rápidamente. Estas comunidades se caracterizan por presentar grandes abundancias de *Andropogon lateralis*, *Sorghastrum setosum*, *Schizachyrum mychrostachium* y *Paspalum plicatulum*. (Sampedro, 2018) (Figura 2). Estos se encuentran asociados a los brunisems hidromorficos, sobre todo de la serie *Mercedes*. Esta serie se caracteriza por presentar una textura franco arcillosa en la capa superficial, de pH ácido con un deficiente drenaje interno.

- Usos del suelo

La ganadería es la actividad más importante de la provincia. La región ganadera centro-sur de Corrientes, se caracteriza por dedicarse a una actividad mixta de cría-invernada con aproximadamente 1.652.166 cabezas (Sampedro, 2018). Asimismo, por su alta radiación y tipos de suelo, el principal cultivo realizado es el arroz. A su vez, en una escala mucho menor, se siembra maíz, sorgo y soja, sobre todo en la región sur, cuyo objetivo principal es alimento para el ganado. Otra actividad muy explotada, tomando mucho impulso por las políticas provinciales, es la forestal. De todas formas, este avance es menor que en otra región de la provincia.

III.2. Estimación de la PPNA y APAR

- PPNA

En este trabajo se identificaron 3 potreros donde cada una de estas comunidades era dominante (Figura 3). Cada potrero, se encuentra bajo pastoreo continuo y los tres son destinados a la cria. Para la estimación de la PPNA, se utilizó el método de jaulas móviles y cortes sucesivos (Brown, 1954). Para ello, fueron instaladas 5 jaulas de clausura en cada potrero de 1 m², quienes previa instalación eran enrazadas. Luego, se cortó un cuadrante de 0.25 m² de la región central y las muestras fueron trasladadas a una estufa hasta alcanzar peso constante, para su posterior pesaje con una balanza de precisión. Los cortes, se realizaron cada 30/45 días. Posteriormente, estos cortes de biomasa eran transformados a tasas de crecimiento diarias y mensuales. Las tasas diarias fueron calculadas dividiendo la biomasa acumulada por los días que pasaron entre cortes. Luego, para calcular las mensuales, se las multiplicaron por el número de días de cada mes. Se tuvieron en cuenta los datos desde el año 2006 hasta el 2017.



Figura 2 Estimación de PPNA a partir del método de jaulas móviles y cortes sucesivos (Brown, 1954), para las tres comunidades en cuestión. A) Comunidad dominada por pastos cortos. B) Comunidad dominada por Pajas. C) Comunidad dominada por Flechillas. Las 3 fotos fueron sacadas en el mes de

enero en un año con precipitaciones normales.

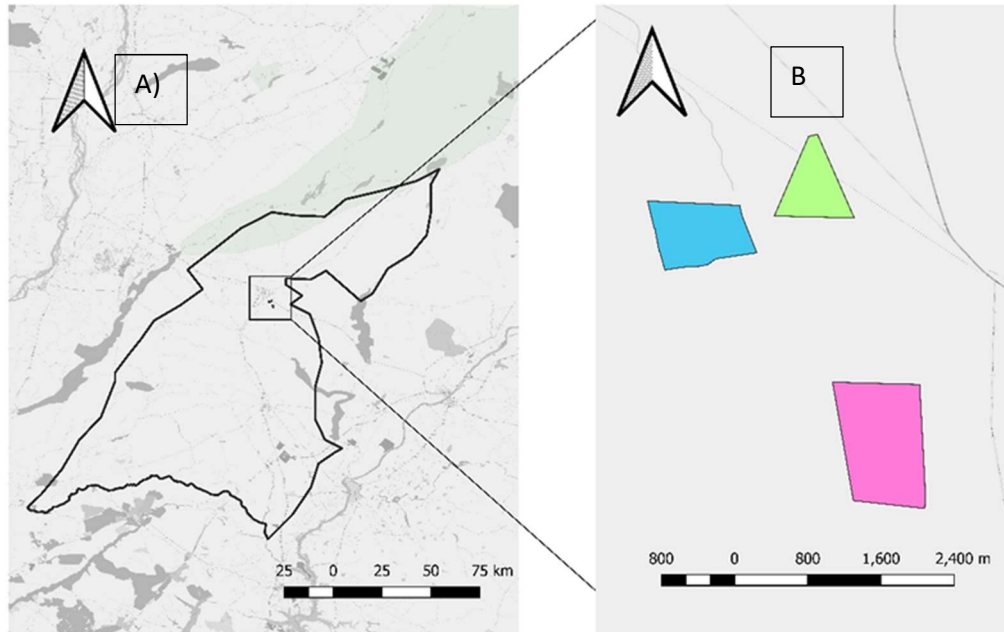


Figura 3 Mapa de los potreros donde se instalaron las jaulas. A) En negro, la región centro sur de la Provincia de Corrientes. Destacado en Rojo, parte central donde se encuentra la EEA INTA Mercedes. B) Potrero que fueron utilizados para la estimación de productividad primaria neta aérea. En verde, potrero dominado por pajonal. En rojo, potrero dominado por flechillar. En amarillo los dominados por pastos cortos

• APAR

La fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por los tejidos verdes (fAPARg) fue estimada a partir del índice de vegetación normalizado (NDVI). Para tal fin, se utilizaron imágenes de la colección MOD13Q1 (Didan et al., 2015), de la misión MODIS. Esta, entrega una imagen compuesta de NDVI cada 16 días. Se trabajó en la API Google Earth Engine que se caracteriza por trabajar en la nube, utilizando los procesadores de Google. Esta modalidad tiene la ventaja de independizar al usuario de la potencia del ordenador y posibilita el procesamiento de grandes volúmenes de datos. Durante este trabajo, se utilizaron todas las imágenes de la colección que había disponible para el periodo considerado. Se obtuvieron los valores de NDVI que corresponden al pixel donde se encontraban las jaulas de clausuras. A partir de estas, se calculó el NDVI promedio mensuales. Luego, se convirtieron los valores de NDVI promedios mensuales en datos de fAPAR, utilizando el modelo planteado por Pellegrini y colaboradores (2020).

La radiación incidente fue descargada de la página de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) (<https://power.larc.nasa.gov/>). E datos, son adquiridos en formato CSV, con una resolución espacial de 0.5° y nos brindan datos de radiación incidente diarios. Los mencionados parámetros solares, se derivan del archivo de la versión 3.0 de GEWEX/SRB de la NASA y varias versiones del proyecto CERES FLASHFlux de la misma agencia. Los datos de CERES FLASHFlux Versión 3, son procesados por el equipo del proyecto POWER a diario. Posteriormente, se agregan a la serie de tiempo diaria para proporcionar productos de baja latencia que generalmente están listos dentro de unos 4 días en tiempo casi real. Estos datos se descargaron para todo el periodo considerado. A partir de ellos, fue calculada la radiación media mensual. Finalmente, para convertirlo en radiación fotosintéticamente activa, se lo multiplicó por 0.48 (Monteith, 1972).

Luego, los valores de de fAPAR mensuales se multiplicaron por la radiación incidente promedio mensual, obteniendo así el valor de la cantidad energía absorbida fotosintéticamente activa (APAR) diaria media para cada mes. Finalmente, se calculó la sumatoria de la APAR diaria para cada uno de los meses de los que se tenían estimaciones de PPNA.

III.3. Análisis de la información

- **Datos de Precipitación**

Para la identificación de eventos extremos de precipitación, se obtuvieron datos de la estación meteorológica convencional que se encuentra en la E.E.A. del INTA de Corrientes. A partir de estos datos, fueron calculadas las precipitaciones anuales y en función de ellas se clasificaron los años. Se consideraron años secos a aquellos que presentaban precipitaciones un 25% menores a la media histórica, años húmedos a aquellos que presentaban precipitaciones mayores a la media más un 25%; y normales a aquellos que se encontraban entre estos valores (Tabla 1).

Tabla 1 Clasificación de los años según la media histórica. Se considero años húmedos a aquellos que presentaban precipitaciones mayores a la media histórica más 25%. Se consideró años

secos aquellos que presentaban la media histórica menos un 25% y años normales aquellos que se encontraban entre estos valores. Media histórica 1337mm/año.

Año	Año Según Precipitación	Precipitación Anual
2007	Normal	1444.6
2008	Seco	907.1
2009	Normal	1408.8
2010	Normal	1533.7
2011	Normal	1225.5
2012	Normal	1577.5
2013	Normal	1612.9
2014	Húmedo	1967.8
2015	Húmedo	2149.2
2016	Húmedo	1866.3

- Estimación de EUR

Para la estimación se siguieron dos abordajes. Por un lado, utilizándose el método de regresión lineal. El cual consiste en realizar una regresión simple entre la PPNA y la APAR acumulada en el periodo considerado. Se consideró la EUR media anual, a aquellas regresiones cuya ordenada al origen no sea estadísticamente distinto de 0 (Verón et al., 2005). Por otro lado, para determinar la EUR media anual para aquellas comunidades que no cumplían dicha condición, y las EUR medias mensuales, se siguió el método de simple ratio. Por este método, la EUR es determinada mediante despeje matemático a partir de la ecuación de Monteith (1972) (Ecuación 1). Esto se realizó para cada uno de los periodos de crecimientos considerados. Luego, se calculó la EUR media mensual y EUR media anual para cada una de las comunidades. Para las regresiones simples y los análisis de variancias (ANOVA), se utilizó el software libre R.

IV. Resultados Y Discusión

La productividad primaria neta aérea tuvo una relación lineal y positiva con la sumatoria del APAR. Sin embargo, los modelos fueron distintos para las comunidades evaluadas (Figura 4). La mayor pendiente la presentó los pastos cortos y la menor, el flechillar, comportándose de forma intermedia el pajonal (Figura 4). Esto significó que el pajonal produjo un 49.8% menos por MJ absorbido que los pastos cortos y el flechillar un 67.27% menos. Las pendientes, de los pastos cortos y el pajonal se encontraron dentro de los valores que fueron observados por Druille y colaboradores (2019) en su meta-análisis para mega térmicas. El flechillar (C_3), mostró valores más bajos que la mayoría de las especies C_3 . Esto pudo deberse, a que en ese meta-análisis fueron evaluadas en su mayoría especies cultivadas. Sin embargo, la pendiente aquí calculada fue similar a la hallada en pastizales co-dominados por especies C_3 y C_4 en Argentina y Uruguay (Grigera et al., 2007, Baeza et al., 2011). En estos trabajos se hallaron pendientes de 0.27 g/MJ y de 0.24 g/MJ respectivamente.

Los pastos cortos, exhibieron el mejor ajuste (r^2) seguido por el pajonal, y el que menor ajuste tuvo fue el flechillar (Figura 4). Estos ajustes fueron similares a los encontrados en praderas mixtas de cultivadas en Argentina y pastizales del Uruguay. Los primeros, presentaron R^2 entre 0.41 y 0.93 (Grigera & Oesterheld, 2020), y los segundos R^2 entre 0.55 g/MJ y 0.67 g/MJ (Baeza et al., 2011). La disminución en el R^2 nos indicaría una mayor variación de la EUR (Grigera & Oesterheld, 2020). Se podría asumir que en general, el flechillar fue 26.66% más variable que los pastos cortos, en cambio, el pajonal fue solamente un 11.11% más variable que estos. Las principales fuentes de estas variaciones fueron tres: La primera, producto de variaciones climáticas. Se ha relacionado la variación de la EUR negativamente con la temperatura y positivamente con la precipitación (Piñeiro et al., 2006). Estas variaciones puede ser muy altas, Piñeiro y colaboradores (2006) observaron variaciones 0.2 a 1.2 gDM/MJ. En segundo lugar, pudo deberse a un cambio en la partición de fotoasimilados, es decir, cambios fuente-destinos. Se estima que en gramíneas perennes el 33% del carbono se encuentra bajo la tierra (Pausch & Kuzyakov, 2018). Finalmente, otra fuente de variación puede deberse a un aumento de rizodeposiciones producidos por las plantas. Esto rara vez es cuantificado. La rizodeposición sigue siendo la parte más incierta del ciclo del C del suelo y de los flujos de C en los ecosistemas terrestres (Pausch & Kuzyakov, 2018).

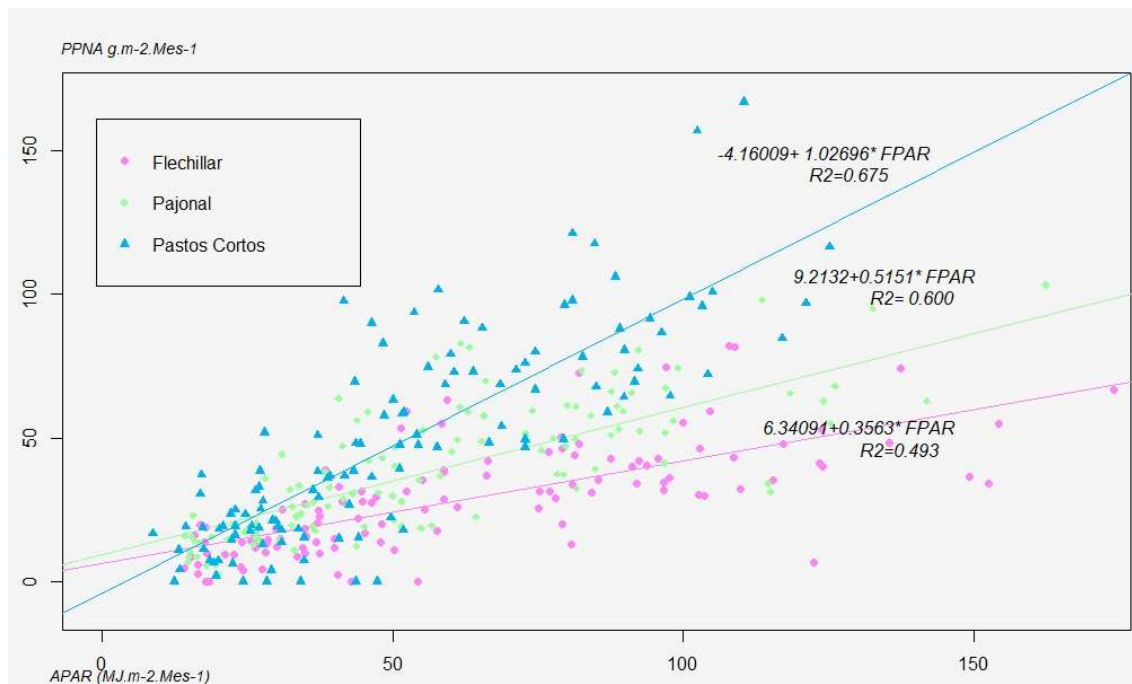


Figura 2 Producción de forraje como función de la Radiación fotosintéticamente activa absorbida para las tres comunidades en consideración. En cian, la comunidad de pastos cortos, la línea representa el modelo de la regresión cuya ordenada al origen es de -4.16 y pendiente de 1.02, $R^2 = 0.675$. En verde, comunidad dominada por pajonales, la línea representa el modelo de regresión con ordenada al origen de 9.21 y pendiente de 0.51, $R^2 = 0.60$. En magenta, la comunidad dominada por flechillares, la línea representa el modelo y muestra una ordenada al origen de 6.34 y pendiente de 0.35, $R^2 = 0.49$.

Las ordenadas al origen fueron significativamente diferentes de 0 para el flechillar y para el pajonal, por el contrario, no fue significativamente diferente de 0 para los pastos cortos. Tanto en el flechillar como en el pajonal, las ordenadas al origen fueron superiores a 0, por lo que la EUR irá decreciendo a medida que aumente la radiación absorbida (Verón et al., 2005). Lo que indicaría que estas diferencias se incrementarán en los periodos de mayor producción. Esto también implica que por este medio se estaría subestimando la EUR para dichas comunidades, ya que se asumiría una producción con radiación igual a 0.

Cuando la EUR fue determinada por medio del método de relación simple (relación entre PPNA y APAR), se obtuvieron valores mayores para el flechillar y el pajonal. Las mismas presentaron EURs de 0.57 y 0.64 g/MJ respectivamente (Figura 5). Por el contrario, los pastos cortos arrojaron valores menores (0.85 g/MJ). De igual manera, presentó la mayor EUR (Figura 5). Esta fue un 24.70% mayor que el pajonal y un 32,94% mayor que el flechillar. Asimismo, el pajonal fue 10.93% mayor que el flechillar. Los valores de EUR de los pastos cortos, en promedio, fueron muy similares a

los hallados por Grigera y colaboradores (2007) para pasturas cultivadas en la región pampeana (0.82 g/MJ). Sin embargo, son inferiores a las observados por Piñeiro y colaboradores (2006) para pastizales de la pampa dominados por C₄ (1.02 g/MJ). Los valores del flechillar, han sido superiores a los encontrado por Gallegos y colaboradores (2017), quienes, enunciaron eficiencias de 0.44 g/MJ para pastizales dominados por C₃ en suelos someros. Por otro lado, el coeficiente de variación (C.V.) fue máximo en los pastos cortos y mínimo en el pajonal e intermedia en el flechillar. Estos, fueron de 51.05, 38.58 y 49.75, respectivamente.

Esta menor EUR en el flechillar podría deberse a dos razones principales. La primera, por la conformación específica de esta comunidad. La misma, es dominada por especies del género *Aristida* (flechillas) de síndrome fotosintético tipo C₃. Estas, tienden a presentar EUR menores que las C₄ (Lambers et al., 1998; Chapin et al., 2002; Druille et al., 2019). La segunda razón, es que en general estas comunidades están asociadas a suelos someros, más pedregosos y con menos nutrientes. Distintos autores señalan que en promedio hay un aumento del 43% en la EUR cuando aumenta la disponibilidad de nitrógeno (Cristiano et al., 2012; Druille et al., 2019). A su vez, también han descripto que hay un aumento de hasta el 36% con aplicaciones de pequeñas dosis de fósforo. Sin embargo, Gallego y colaboradores (2017), encontraron en Uruguay que las EUR de comunidades halladas en suelos someros eran ligeramente superior a las comunidades de suelos de profundidad media.

La diferencia entre las otras dos comunidades está dentro de la variabilidad descrita por Druille y colaboradores (2019). Sin embargo, esta podría deberse a la distribución espacial de las comunidades. Por un lado, los pastos cortos, están asociados a suelos más fértiles que el pajonal, por lo que el aumento en la EUR, puede ser producto de una mayor fertilidad (Druille et al., 2019; Cristiano et al., 2012). Diferencias similares han sido encontrados por Grigera y colaboradores (2007), en dos comunidades de gramíneas ubicadas en lomas y bajos. Donde las lomas presentaban una EUR de 0.6g/MJ y los bajos 0.27 g/MJ.

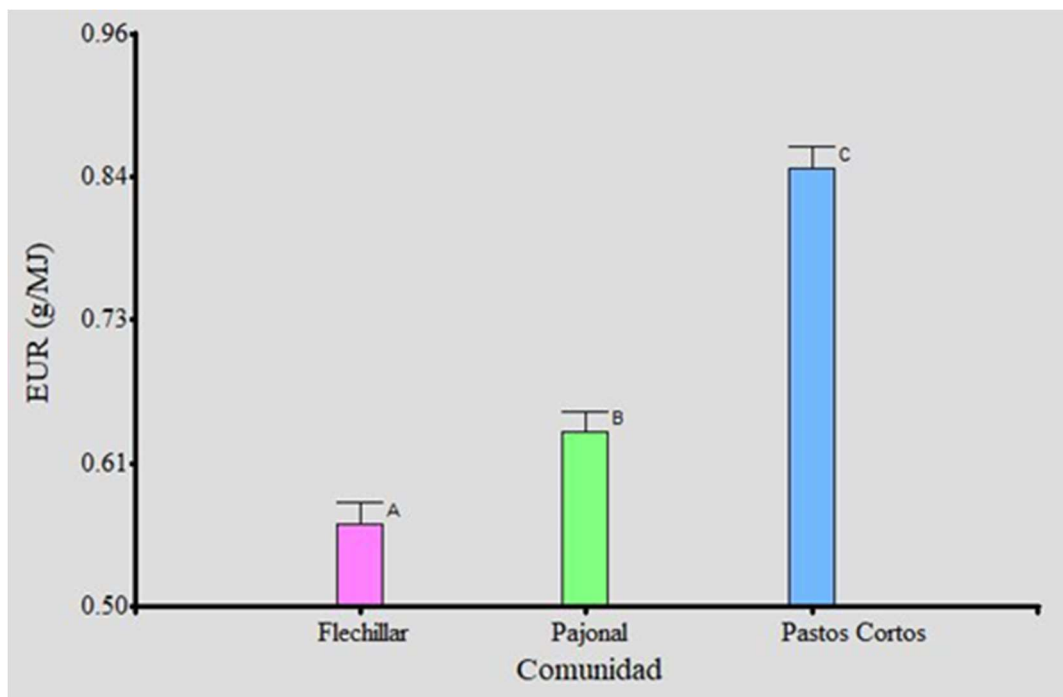


Figura 3 Eficiencia en el uso de la radiación siguiendo el método de despeje matemático. En Cian, comunidad dominada por pastos cortos. En verde, comunidad dominada por pajonales, y en magenta comunidad dominado por Flechillas. Letreas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.5$).

Con respecto a la variación inter anual, los pastos cortos en la mayoría de los años fue superior a las demás comunidades. Asimismo, el pajonal siempre fue superior al flechillar (Figura 6). Los pastos cortos, presentaron la máxima eficiencia en el año 2012 alcanzando valores de 1.11 g/MJ absorbido y la mínima en el año 2014 y 2016 alcanzando valores de 0.66 g/MJ absorbido (Figura 6). El flechillar, presentó valores máximos de eficiencia en los años 2007, alcanzando valores de 0.66 g/MJ absorbido y valores mínimos en el año 2014 con valores de 0.42 g /MJ absorbido. Finalmente, la pajonal, alcanzó su máxima eficiencia en el año 2012 y 2009 con valores de 0.78 g/MJ absorbido y valores mínimos en los años 2015 y 2014 (Figura 6). Si bien, estos valores medios anuales, son valores similares a los encontrados por distintos autores en pastizales dominados por C₄ (Piñeiro et al., 2006; Grigera et al., 2007b; Oyarzabal et al., 2010; Grigera & Oesterheld, 2020), hay muy poca información respecto a la variación interaunal de la EUR en general y particularmente para pastizales de zonas húmedas. La comunidad más variable fue la 2, la cual presentó un Coeficiente de Variación (CV) de 20.72%. Dicho coeficiente de variación, fue mayor que la de flechillar en dos puntos porcentuales y 8 puntos porcentuales mayor que la 3. Lo que representa una variabilidad un 11.05% mayor y un 36.72% mayor respectivamente. Estas variaciones inter-anales

fueron muy superiores a las documentadas por Nouvellon y colaboradores (2000), quienes encontraron una variación de 0.27 g/MJ a 0.37 g/MJ.

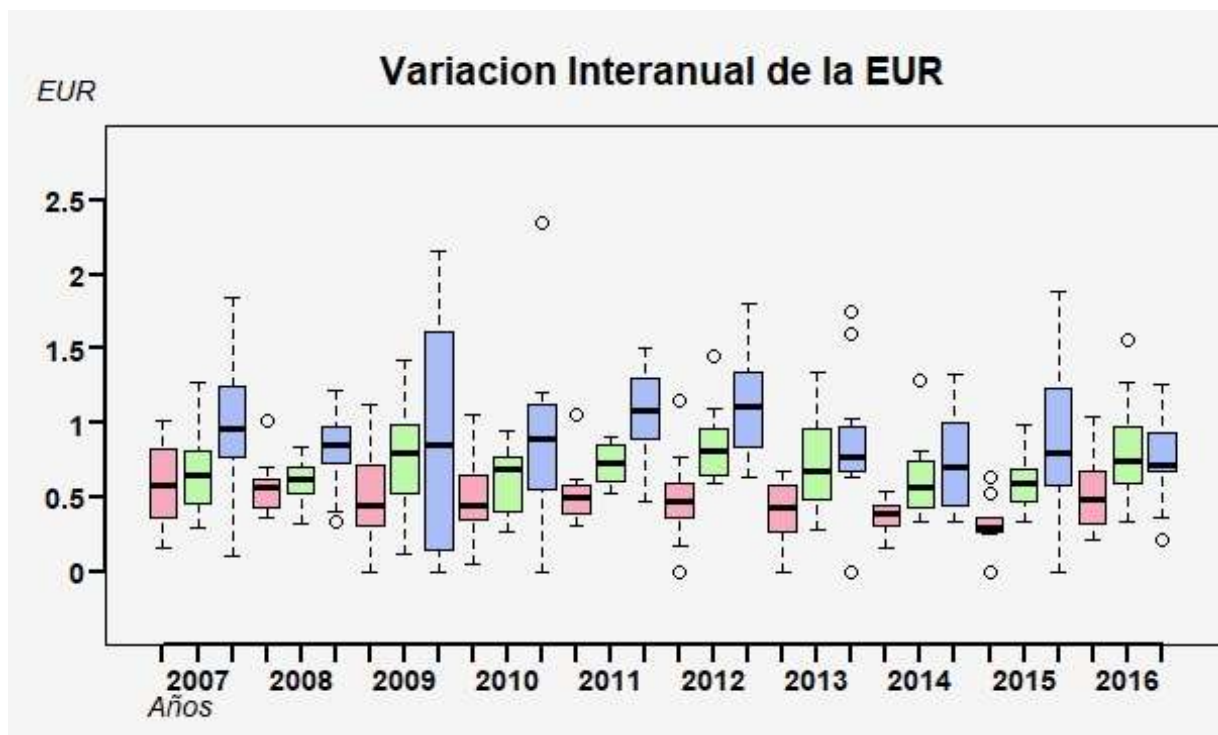


Figura 4 Variación interanual de la eficiencia en el uso de la radiación para tres comunidades de la región ganadera del centro sur de la provincia de Corrientes. En cian, comunidad dominada por pastos cortos. En verde, comunidad dominada por pajonales, y en magenta comunidad dominado por flechillas. Periodo evaluado 2007-2016. Círculos abiertos representan valores atípicos.

La fuente de estas variaciones puede deberse mucho a las condiciones climáticas y estructuras de esta comunidad. Por un lado, la comunidad más variable, dominada por pastos cortos, presentan un sistema radicular más superficial. Por lo tanto, al explorar solo las capas superiores del suelo lo hacen más dependiente a las condiciones climáticas (ver Apéndice, figura 2). Esta variabilidad en la EUR podría relacionarse más que nada un cambio de la ruta fuente-destino. En cambio, la comunidad más estable, está dominado por pastos erectos. Quienes presentan un sistema radical que explora en gran profundidad los suelos, pudiendo tener acceso a reservorio de agua y nutrientes que se hallan a mayor profundidad.

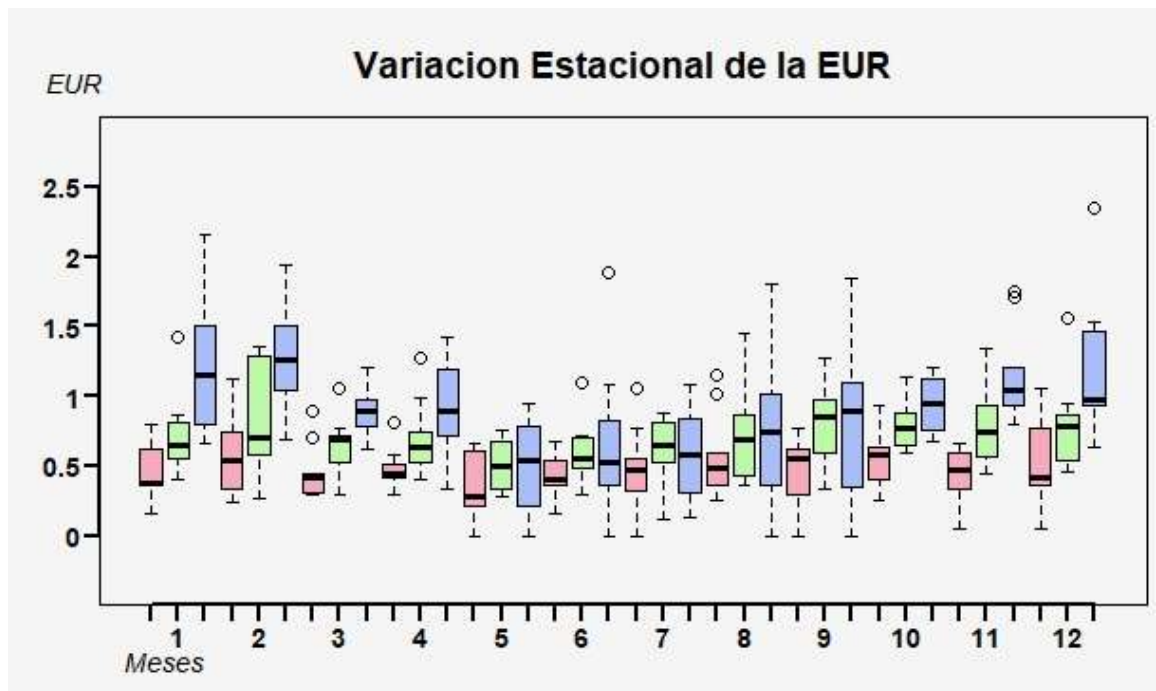


Figura 5 Promedio de la eficiencia en el uso de la radiación mensual de todos los años evaluados (2007-2016) para las tres comunidades de interés. En cian, comunidad dominada por pastos cortos. En verde, comunidad dominada por pajonales, y en magenta comunidad dominado por flechillas. Círculos abiertos representan valores atípicos

En cuanto a la variación estacional se observó que todas las comunidades presentaron un patrón similar. Por un lado, exhibieron sus valores máximos en los meses más cálidos y por el otro mostraron los mínimos en los meses más fríos. La mayor eficiencia la presentaron los pastos cortos en todos los meses. Menos en el mes de junio y julio que fue superada por el pajonal. Asimismo, el pajonal fue superior al flechillar en todos los meses (Figura 7). Por un lado, los pastos cortos, mostraron mayores valores de EUR en los meses estivales (1.14 g/MJ). El pajonal, presentó mayores valores de EUR en primavera (0.78 g/MJ). Finalmente, el flechillar expuso valores máximos a fines del verano (0.79 g/MJ) y comienzo del invierno (0.68 g/MJ) (Figura 7). La comunidad más variable fue la dominada por pastos cortos (1.14 g/MJ a 0.47 g/MJ), la que presentó menor variabilidad fue la dominada por pastos erectos (0.78 g/MJ a 0.49 g/MJ), comportándose de forma intermedia los flechillares (0.79 g/MJ a 0.39 g/MJ). Estas variaciones estacionales fueron menores a las encontrada por Piñeiro y colaboradores (2006), 0.2 a 1.2 g/MJ.

Se pudo ver que hay una gran variabilidad dentro de los meses. En general, los meses más cálidos son más variables en las 3 comunidades. Se destacó que el mes más variable para el flechillar y el pajonal fue febrero. De igual manera, los meses más

variables para los pastos cortos, fueron septiembre y diciembre (Figura 7). Los meses menos variables en general fueron los invernales, principalmente junio y julio para las 3 comunidades. Estas diferencias en los meses donde se presentaron los picos, pudieron deberse a cambios de fase vegetativa a reproductiva, varios autores encontraron una mayor EUR en fases reproductivas que vegetativas (Romera et al., 2009; McCall & Bishop-Hurley, 2003). En este sentido, los pajonales comenzaron su estado reproductivo a fines de septiembre y a mediados de octubre, en cambio los pastos cortos mantuvieron su estado vegetativo hasta más próximo al verano. El flechillar, presentó dominancia de especies C₃ cuyo momento de floración es en septiembre. Sin embargo, son acompañadas por abundantes C₄, que presentarían su pico de floración a fines del verano. Asimismo, se dejó ver que las variaciones dentro de los meses pueden deberse a condiciones adversas en periodos críticos de las especies dominantes de estas comunidades. Por otro lado, se pudo observar que los pastos cortos presentaron en todos los meses mayor variabilidad, lo cual podría mostrar una relación estrecha entre la EUR y las condiciones ambientales (Apéndice, figura 2).

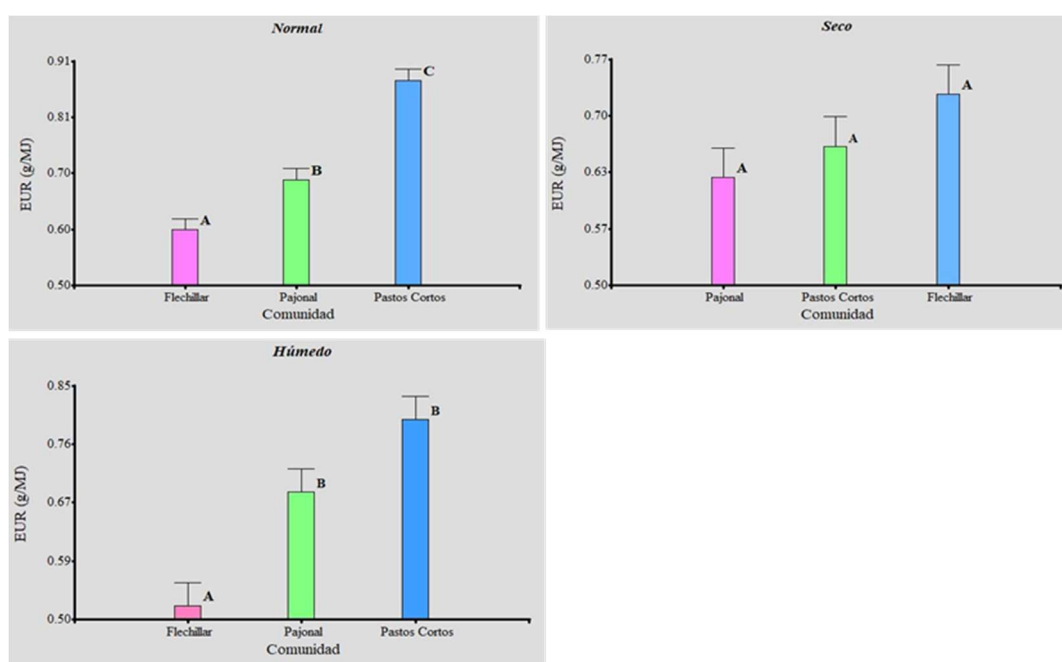


Figura 6 Eficiencia en el uso de la radiación promedio anual según las precipitaciones anuales para las comunidades evaluadas. A) años normales B) años con precipitaciones un 25% inferior C) Años con precipitaciones un 25% mayor. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.5$). En cian, comunidad dominada por pastos cortos. En verde, comunidad dominada por pajonales, y en magenta comunidad dominado por flechillas.

La EUR cambió según la precipitación anual. Cuando las precipitaciones fueron normales, los pastos cortos fueron significativamente mayor a las demás y el pajonal fue significativamente mayor al flechillar, quien presentó la menor EUR (Figura 8A). En cambio, cuando las precipitaciones fueron escasas, no se encontraron diferencias entre las comunidades (Figura 8B). A su vez, en los años húmedos el pajonal y los pastos cortos no se diferenciaron estadísticamente, pero si lo hicieron del flechillar, siendo ambas superiores (Figura 8C). Por un lado, en años normales la comunidad que estaba dominada por pastos cortos expresó su potencial, presentando una máxima eficiencia. Sin embargo, en años secos, podría haber un cambio en la partición de fotoasimilados. Lo cual ocasionaría un cambio fuente/destino, para producir más raíces y poder explorar más el suelo. Esto, con el objetivo de conseguir agua ubicada a mayor profundidad. Caso similar ocurriría en los años húmedos. Sin embargo, la limitante serían los nutrientes, sobre todo fósforo y nitrógeno (Escobar et al., 1996). En cambio, el pajonal, presentó un sistema radical profundo y que explora muy bien todo el suelo. Esta característica, le conferiría una propiedad tipo *buffer*, pudiendo en años más secos, acceder a aguas más profundas. Por el contrario, en años con mayor precipitaciones parte de los fotoasimilados, podrían ser destinados a la formación de rizodeposiciones y exudados con el fin de aumentar el ciclaje de nutriente producto de un aumento en la mineralización de la M.O. (Pausch & Kuzyakov, 2018).

El flechillar se volvió más eficiente en los años secos, presentando una EUR un 27% mayor a los años normales y húmedos (Figura 9C), los cuales no presentaron diferencias estadísticas. Esto podría ser debido a la fragilidad que presenta dicha comunidad. Al estar asociados a suelos muy someros y con afloramientos rocosos, los años secos se podrían presentar como factores de disturbio de gran magnitud. Esto ocasionaría el cambio de las especies dominante por especies ruderales de estrategia tipo R. Los pastos cortos, tuvieron una menor eficiencia en los años secos, esta fue un 24% mas baja que la eficiencia que presentó en los años normales (Figura 9B). En estos años, se observó la mayor eficiencia. Finalmente el pajonal, no se diferenció entre los años húmedos, secos o normales.

Si bien, Grigera y colaboradores (2020) han demostrado que los efectos en los cambios en el APAR son más significativos que los cambios ocasionados por la variación en la EUR. En términos prácticos, si no se tiene en cuenta los cambios ocasionados por la disponibilidad de agua es posible que los errores en la estimación puedan ser muy

elevados, y sobretodo en los flechillares y pastos cortos. En años normales, el efecto no es marcado siendo que serían subestimados con la EUR 220 kgMs/año; 160 kgMS/año; y 580kgMS/año para los flechillares, pastos cortos y pajonales, respectivamente. Esto se traduciría en 6%, 3% y 7 % menos de PPNA. Sin embargo, en años extremos estas diferencias son muy grandes. En años secos, la estimación con las EUR promedio nos daría valores 400 kgMS/años mayores en el flechillar y valores 50kgMS/años y 750 kg/Año menores en las comunidades pajonal y pastos cortos. Estas variaciones se traducen en una oferta forrajera real un 16% menor para el flechillar y un 23% mayor en los pastos cortos. En años húmedos, los errores de estimación rondan los 700kgMS/año, 320 kgMS/año y 610 kgMS/año. Los cuales se traducen en una PPNA 24%, 7% y 9% mayor respectivamente. Los resultados presentados aquí son contundentes, y representan un posible problema a futuro. Por un lado, una carga 23% mayor en años secos, podría ser un disturbio lo suficientemente fuerte como para generar una transición a un nuevo estado no deseable, al igual que en años húmedos (sobretodo en comunidades tan frágiles como los flechillares). Por otro lado, la información presentada aquí es de vital importancia para poder modelar y evaluar el stock ganadero regional en un futuro. Más aún en un contexto de cambio climático, en donde se esperan un aumento en la

temperatura media y de eventos extremos, al igual que una disminución de las precipitaciones.

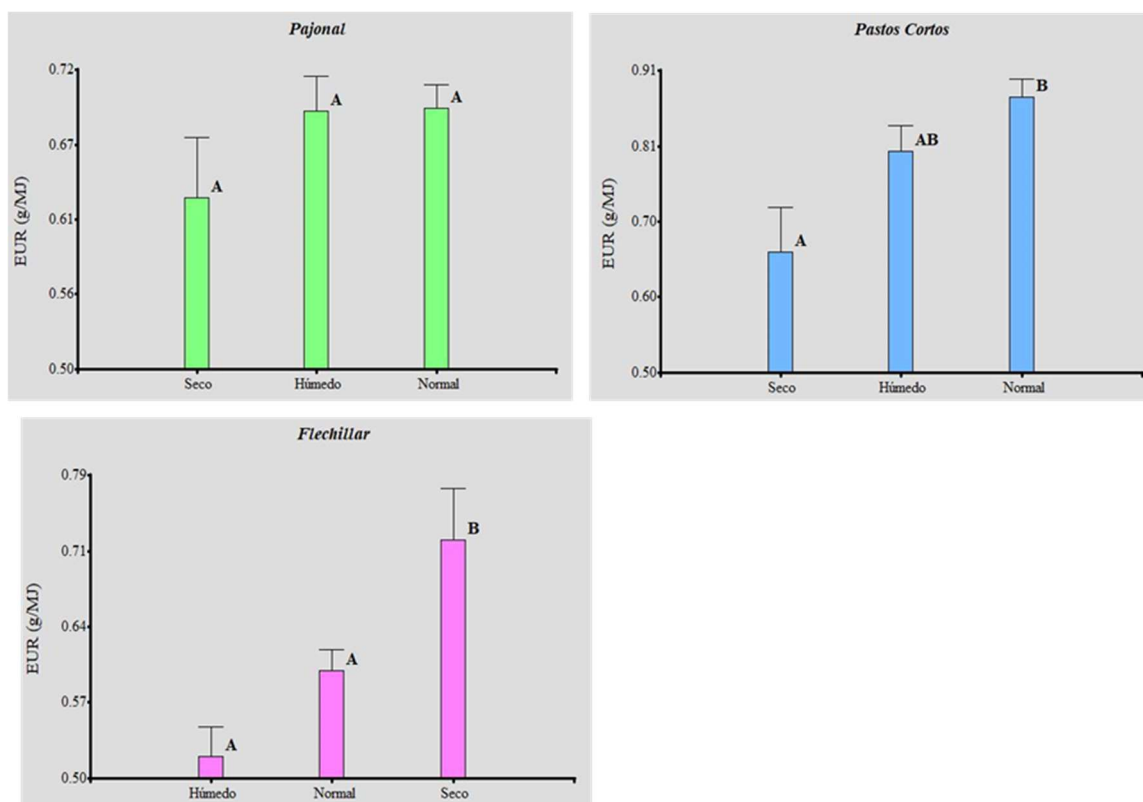


Figura 7 Eficiencia en el uso de la radiación promedio anual según las precipitaciones anuales: años normales precipitaciones dentro alrededor de la media histórica, años seco con precipitaciones un 25% inferior, años húmedos con precipitaciones un 25% mayor. A) Letras distintas indican diferencias significativas entre años.

V. Conclusiones

Los resultados antes expuestos de este trabajo han demostrado que las tres comunidades evaluadas presentan distintas eficiencias en el uso de la radiación. Siendo máximas en los pastos cortos y mínimas en los flechillares. Asimismo, no son constantes y presentan variaciones inter e intraanuales. Cuyas magnitudes y máximos varían según la comunidad observada. A su vez, el efecto de la precipitación sobre la EUR, depende de la composición específica de la comunidad, pudiendo aumentar o disminuirla. De igual manera se desprende, que la comunidad dominada por pajonales, presenta una gran plasticidad y se puede adaptar a los cambios climáticos, lo contrario que ha sucedido con los pastos cortos. Este trabajo, ha brindado información extremadamente útil para el modelado de la PPNA de los pastizales de la región. Del mismo modo, ha aportado información certera de la variación inter e intra anual de la EUR, que no se había estudiado en los pastizales de esta región. Finalmente, se pudo recavar información de cómo los eventos extremos pueden afectar esta variable y deberían tenerse en cuenta en el futuro modelado.

Bibliografía

Aguilar, M. R. & Paruelo, J. M., 2003. Impacto humano sobre los ecosistemas.: El caso de la desertificación.. *Ciencia hoy*, 13,(77), pp. 48-59..

Alkemade, R. & otros, 2013. Assessing the impacts of livestock production on biodiversity in rangeland ecosystems.. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* , Volumen 110 , p. 20900–20905.

Arias Usandivaras, L. M., 2006. Controles climáticos de la productividad primaria de pastizales de la provincia de Corrientes. *0 intensificación para acceder al grado de Ingeniero Agrónomo*.

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*, 2 (15), pp. 48-59.

Brown, D., 1954. Methods of surveying and measuring vegetation.. *Methods of surveying and measuring vegetation*..

Chapin, F. S. I., Matson, P. A. & H.A., M., 2002. Carbon input to terrestrial ecosystems. *Principles of Terrestrial Ecosystem*., p. 97–122..

Costanza, R. y otros, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), pp. 253-260..

Cristiano, P. M., Posse, G., Di Bella, C. M. & Boca, T., 2012. Influence of contrasting availabilities of water and nutrients on the radiation use efficiency in C3 and C4 grasses.. *Austral Ecology*, , Volumen 37, pp. 323-329..

Didan, K., Munoz, A. B., Solano, R., & Huete, A. (2015). MODIS vegetation index user's guide (MOD13 series). *University of Arizona: Vegetation Index and Phenology Lab*.

Druille, M., Oyarzabal, M. & Oesterheld, M., 2019. Radiation Use Efficiency of Forage Resources: A Meta - Analysis. *Agronomy Journal*, pp. 1770-1778.

Escalante, M. S. & Fernandez, J., 2018. Informe agrometeorológico año 2017. *Noticia y comentario*, Issue 559, pp. 1-5.

Escobar, E. H. y otros, 1996. Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1: 500.000.. *Convenio MAGIC-INTA. Recursos Naturales, EEA INTA Corrientes*.

Gallego, F. y otros, 2017 . Estimación de la productividad primaria neta aérea y capacidad de carga ganadera: un estudio de caso en Sierras del Este, Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 2, 21 (1), pp. 120-130.

Gamon, J., Serrano, L. & Surfus, J. S., 1997. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, 112(4), pp. 492-501.

Garbulsky, M. F. y otros, 2011. The photochemical reflectance index (PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies: A review and meta-analysis.. *Remote sensing of environmen*.

Glenn, E. P., Huete, A. R., Nagler, P. L. & Nelson, S. G., 2008. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8(4), pp. 2136-2160.

Golluscio, R., 2009 . Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas.. *Ecologia austral*.

Grigera, G. & Oesterheld, M., 2020. Variability of radiation use efficiency in mixed pastures under varying resource availability, defoliation and time scale.. *Grassl Sci.*, Volumen 00, p. 1–11..

Grigera, G., Oesterheld, M., Durante, M. & Pacín, F., 2007. Evaluación y seguimiento de la productividad forrajera.. *Revista Argentina de Producción Animal*, 27(2), pp. 137-148.

Grigera, G., Oesterheld, M. & Pacín, F., 2007b. Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems*, 94 (3), pp. 637-648..

Havstad, K. y otros, 2009. The western United States rangelands: A major resource.. En: W. Wedin & S. Fales, edits. *Grassland, Quietness and Strength for a New American Agriculture*;. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, CropScience Society of America, and Soil Science Society of America:, p. 75–93.

Huffman, G. y otros, 2019. GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD,. *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)*.

Kiniry, J. R. y otros, 2012. Clash of the titans: comparing productivity via radiation use efficiency for two grass giants of the biofuel field.. *BioEnergy Research*, p. 5.

Lambers, H., Chapin, F. S. I. & Pons, T. L., 1998. Photosynthesis, respiration and long distance transport.. *Plant Physiological*, p. 10–95..

López Mársico, L. & Altesor, A., 2011. Relación entre la riqueza de especies vegetales y la productividad en pastizales naturales.. *Ecología austral*, 21(1), pp. 101-109.

McCall, D. G. & Bishop-Hurley, G. J., 2003. A pasture growth model for use in a whole-farm dairy production model. *Agricultural Systems*, 76 (3), pp. 1183-1205..

McNaughton, S., 1983b. Compensatory plant growth as a response to herbivory.6. *Oikos*, p. 329–33.

Meehl, G. A. y otros, 2007. Global climate projections.. En: *IPCC, 2007: Climate Change 2007: the physical science basis. contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, pp. 747-846.

Monteith, J., 1972. Solar radiation and productivity in tropical. *Journal of Applied Ecology*, Volumen 9, pp. 747-766.

Nouvellon, Y. y otros, 2000. PAR extinction in shortgrass ecosystems: effects of clumping, sky conditions and soil albedo.. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volumen 105, pp. 21-41..

Oltjen, J. & Beckett, J., 1996.. Role of ruminant livestock in sustainable agricultural systems.. *J Anim Sci*, Volumen 9, p. 74:1406.

Oyarzabal, M., Oesterheld, M. & Grigera, G., 2010. Como estimar la eficiencia en el uso de la radiación mediante sensores remotos y cosechas de biomasa. *BASES ECOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS PARA EL MANEJO DE PASTIZALES*, Issue 26, p. 121..

Pausch, J. & Kuzyakov, Y., 2018. Carbon input by roots into the soil: quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Global Change Biology*, 24,(1), pp. 1-12..

Pellegrini, P. y otros, 2020. Simple regression models to estimate light interception in wheat crops with Sentinel - 2 and a handheld sensor.. *Crop Science*..

Piñeiro, G., Oesterheld, M. & Paruelo, J. M., 2006. Seasonal variation in aboveground production and radiation-use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing.. *Ecosystems*, 9 (3), pp. 357-373..

Romera, A. J., McCall, D. G., Lee, J. M. & Agnusdei, M. G., 2009. Improving the McCall herbage growth model. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 52(4), pp. 477-494..

Running, S. W. y otros, 2004. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production.. *Bioscience*, 54 (6), pp. 547-560..

Running, S. W., Thornton, P. E., Nemani, R. & Glassy, J. M., 2000. *Global terrestrial gross and net primary productivity from the earth observing system. In Methods in ecosystem science (pp. 44-57)...* New York: Springer.

Saha, S., 2011. , updated daily. NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) 6-hourly Products.. *Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory*.

Sala, O. & Austin, A. T., 2000. Methods of Estimating Aboveground Net Primary Productivity. *Methods in Ecosystem Science Springer-Verlag*, pp. 31-43.

Sala, O., Yahdjian, L., Havstad, K. & Aguiar, M., 2017. Rangeland ecosystem services: Nature's supply and humans' demand.. En: B. D.D., ed. *In Rangeland Systems: Processes, Management and Challenges*; . Cham, Switzerland,: Springer, p. 467–489..

Sampedro, D., 2018. *Cría vacuna en el NEA*. Primera ed. Mercedes: INTA.

Slattery, R. A., Ainsworth, E. & Ort1, D., 2013. A meta-analysis of responses of canopy photosynthetic conversion efficiency to environmental factors reveals major causes of yield gap. *Journal of Experimental Botany*, 64 (12), p. 3723–3733.

Verón, S. R., Oesterheld, M. & Paruelo, J. M., 2005 . Production as a function of resource availability: slopes and efficiencies are different. . *Journal of Vegetation Science*, 16(3), pp. 351-354..

Wheeler, R., Kramer, G., Young, K. & Ospina, E., 1981. The world Livestock product feedstuff, and food grain system.. *Morrilton: Winrock International.*, p. 85.

Apéndice

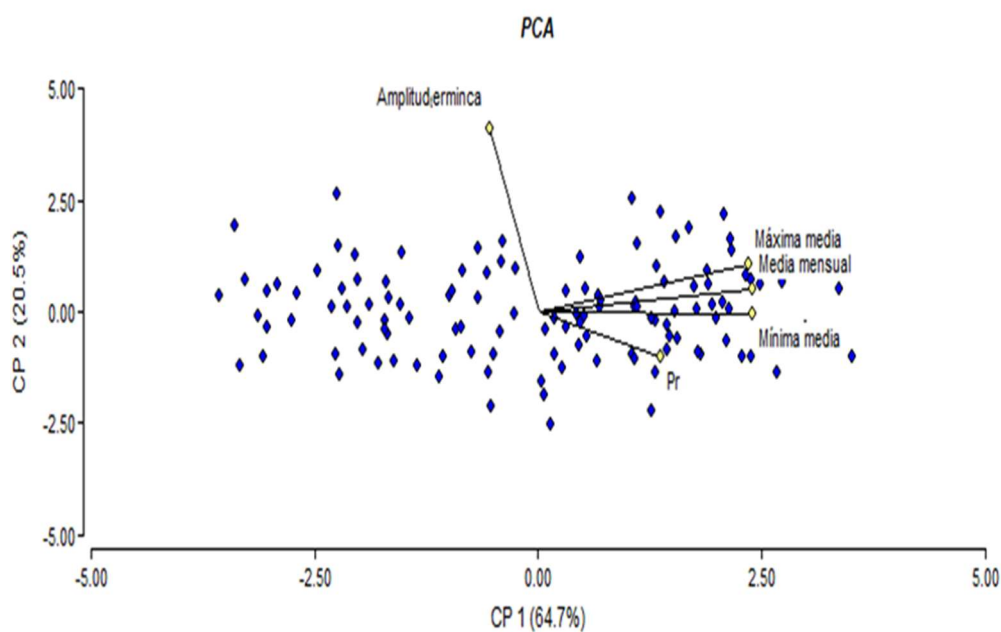


Figura 1 Análisis de componentes principales con variables climáticas de la región de los últimos 10 años. El Componente principal 1, explica el 64.7% de la variabilidad y el 2 explica el 20.5%

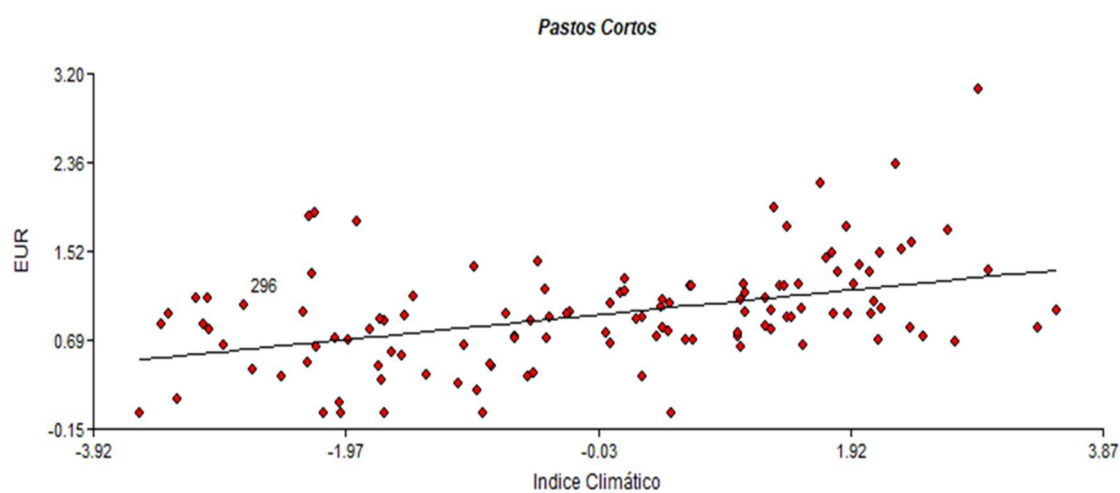


Figura 2 Relación lineal entre la EUR y el primer componente del análisis de los componentes principales de las variables climáticas (índice climático), para la comunidad dominada por Pastos cortos.

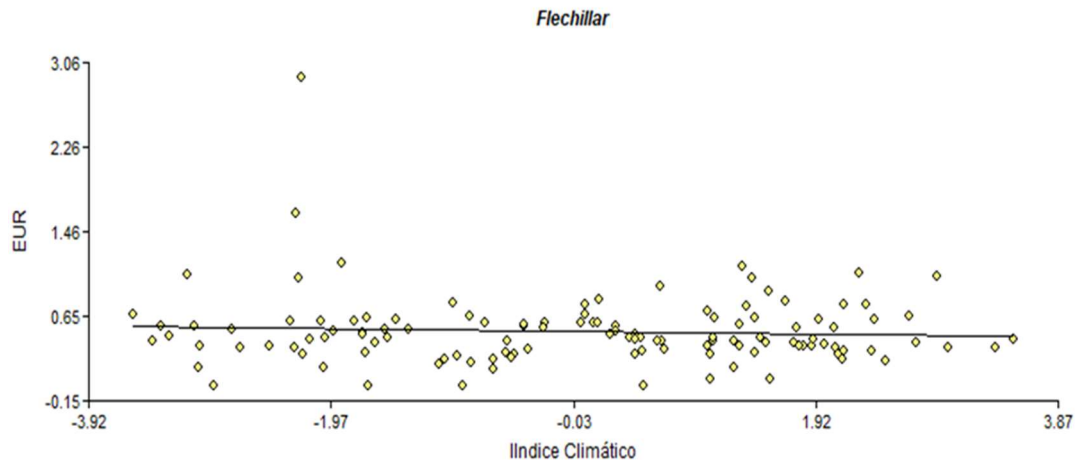


Figura 3 Relación lineal entre la EUR y el primer componente del análisis de los componentes principales de las variables climáticas (índice climático), para la comunidad dominado por flechillar.

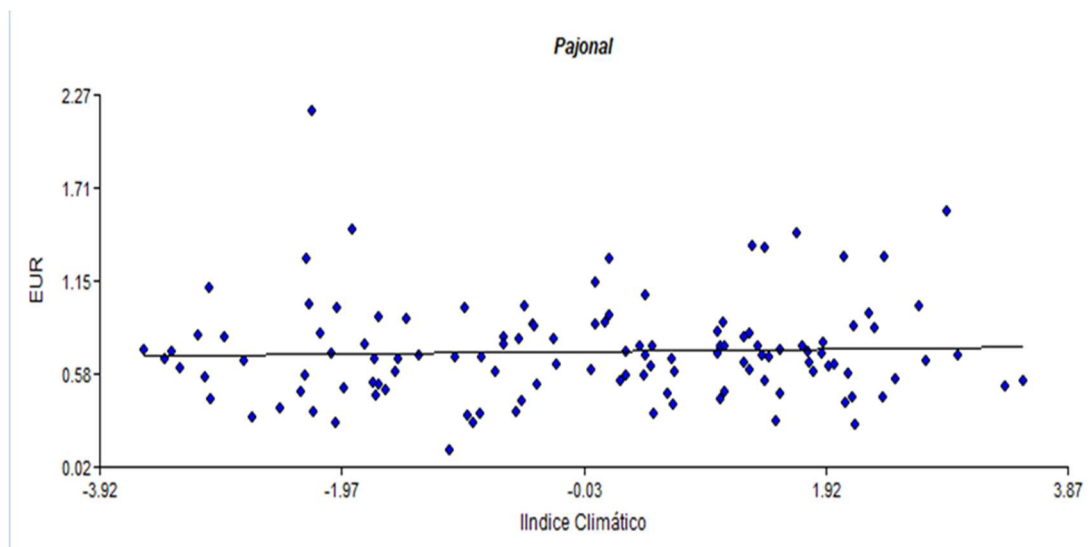


Figura 4 Relación lineal entre la EUR y el primer componente del análisis de los componentes principales de las variables climáticas (índice climático) para la comunidad dominada por Pajonal

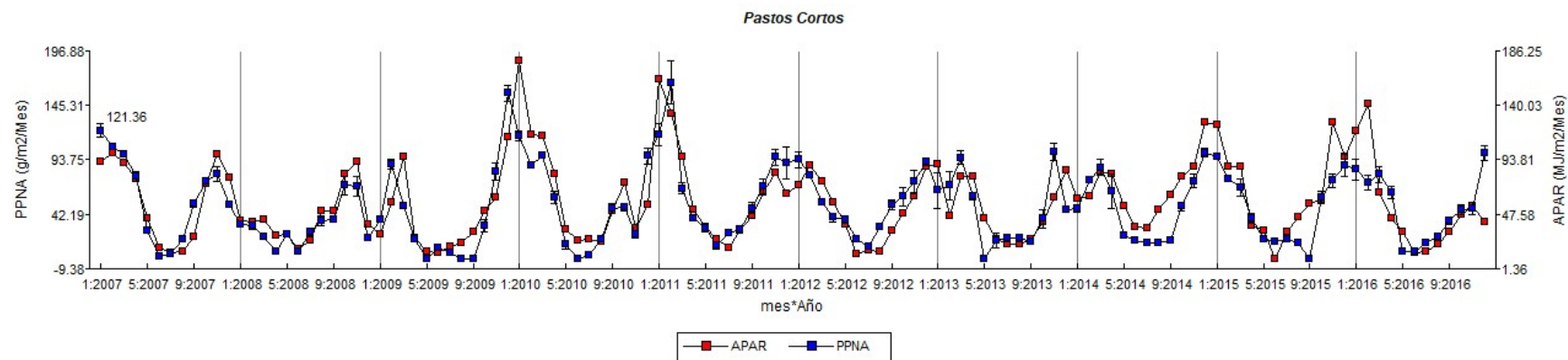


Figura 5 Productividad primaria neta aérea (PPNA) y Radiacion fotosinteticamente activa absorbida para los pastos cortos

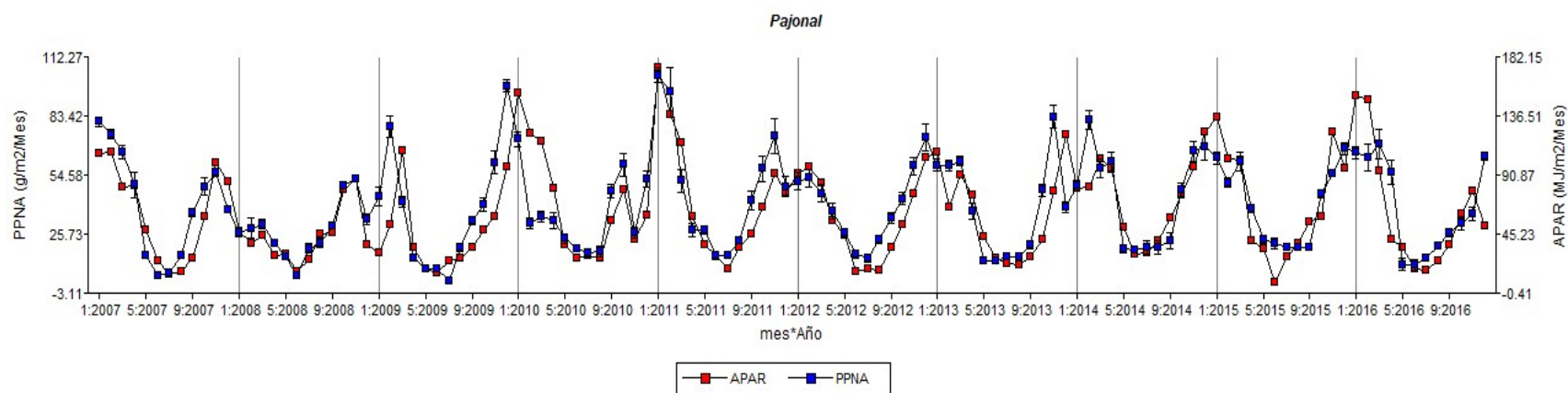


Figura 6 Productividad primaria neta aérea (PPNA) y Radiacion fotosinteticamente activa absorbida para el pajonal

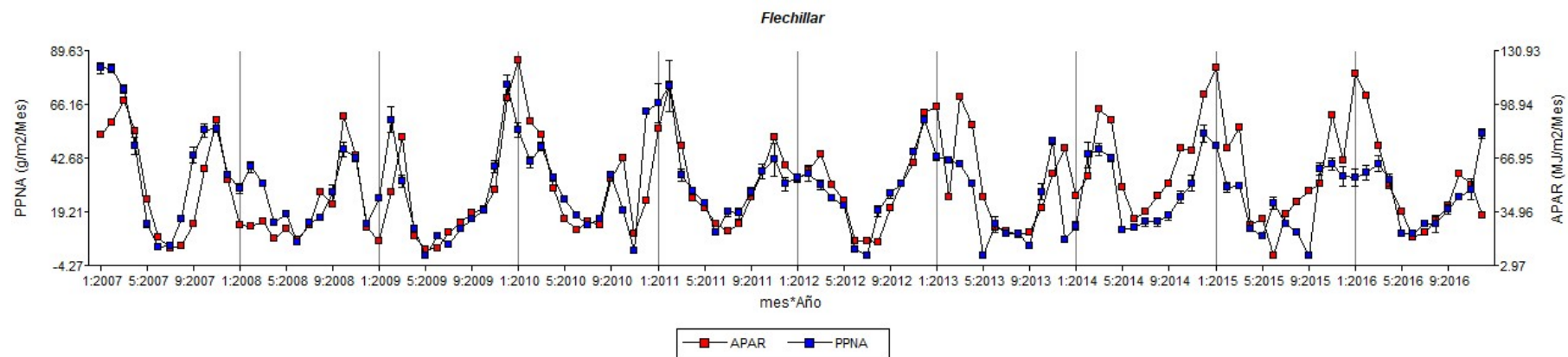


Figura 7 Productividad primaria neta aérea (PPNA) y Radiacion fotosinteticamente activa absorbida para El flechillar

4

5