

Productividad primaria neta aérea de alfalfa en la región pampeana y su  
relación con variables climáticas

*Trabajo final presentado para optar al título de Especialista en Teledetección y  
Sistemas de Información Geográfica aplicados al estudio de los recursos naturales y la  
producción agropecuaria*

**Cristian José María Escobar Decoud**

Ingeniero en Ecología Humana - Universidad Nacional de Asunción  
Año 2011

Lugar de trabajo: Cátedra de Extensión y Sociología Rurales - FAUBA



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

## **TUTOR**

Tutor

**Mariano Oyarzabal**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)  
Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

## **JURADO DE TRABAJO FINAL**

Jurado

**Carlos M. Di Bella**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)  
Doctor del Institut National Agronomique Paris-Grignon (Paris - Francia)

Jurado

**Gervasio Piñeiro Guerra**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de la República Oriental del Uruguay)  
Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Fecha de defensa del Trabajo Final: 13 de agosto de 2021

## Índice general

<b>Índice de figuras .....</b>	<b>iv</b>
<b>Abreviaturas .....</b>	<b>v</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<i>Objetivos .....</i>	<i>2</i>
<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>3</b>
<i>Descripción del área de estudio .....</i>	<i>3</i>
<i>Metodología.....</i>	<i>4</i>
<b>Resultados .....</b>	<b>5</b>
<i>Variabilidad espacial.....</i>	<i>5</i>
<i>Variabilidad temporal.....</i>	<i>6</i>
<b>Discusión.....</b>	<b>9</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>10</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1.....</b>	<b>3</b>
<b>Figura 2.....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 3.....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 4.....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 5.....</b>	<b>8</b>

## **Abreviaturas**

ANOVA: Analysis of variance

CV: Coeficiente de variación

EUR: Eficiencia de uso de la radiación

fRFAA: Fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida

IVN: Índice de vegetación normalizado

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NASA: National Aeronautics and Space Administration

PPNA: Productividad primaria neta aérea

RFA: Radiación fotosintéticamente activa

RFAA: Radiación fotosintéticamente activa absorbida

**Título:** Productividad primaria neta aérea de alfalfa en la región pampeana y su relación con variables climáticas

## **Resumen**

La alfalfa es uno de los recursos forrajeros de mayor importancia en sistemas ganaderos de la región pampeana debido a su alta productividad y calidad nutricional. Conocer su productividad primaria neta aérea (PPNA) es fundamental para establecer la carga animal adecuada y manejar los excesos y déficits de forraje. Debido a limitaciones operativas para la estimación de la PPNA en el campo, existe escasa información sobre su variabilidad espacial y temporal a nivel de lotes en producción. El objetivo del presente trabajo fue analizar la variabilidad espacial y temporal de la PPNA en ocho lotes destinados al cultivo de alfalfa a lo largo de tres campañas en la región pampeana de Argentina. Se estimó la PPNA de cada lote para cada campaña mediante un modelo basado en datos provistos por sensores remotos. La PPNA anual varió significativamente entre lotes 4.970 a 13.655 Kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, y entre meses, con mucha mayor PPNA en los meses de primavera-verano que en los del resto del año. El 77% de la variabilidad de la PPNA entre meses fue explicada por la temperatura del aire. La PPNA anual de un mismo lote no varió significativamente entre campañas. Estimar la variabilidad espacial y temporal de la PPNA a nivel de lotes en producción mediante datos provistos por sensores remotos permite una planificación más eficiente de la producción de forrajes en sistemas ganaderos a partir de un menor esfuerzo de muestreo y una mayor cobertura espacial y temporal en el análisis.

**Palabras clave:** alfalfa; PPNA; variabilidad espacial; variabilidad temporal; clima.

**Title:** Aboveground net primary production of alfalfa in the pampean region and its relationship to climate variables.

## **Abstract**

Alfalfa is one of the most important forage resources in livestock systems in the Pampean region due to its high productivity and nutritional quality. Quantifying aboveground net primary production (ANPP) is critical to establish stocking rates and manage forage excesses and deficits. Due to operational limitations, there is little information on ANPP spatial and temporal variability at the paddock level in commercial farms. The objective of this work was to analyze the spatial and temporal variability of ANPP in eight paddocks cultivated with alfalfa along three campaigns in the Pampean region of Argentina. ANPP of each paddock was estimated in each campaign using a model based on data provided by remote sensors. Annual ANPP varied significantly between paddocks, between 4,970 and 13,655 Kg.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, and between months, with much higher ANPP during spring-summer than in the rest of the year. Air temperature explained 77% of the ANPP variability between months. Annual ANPP within paddocks did not vary significantly between campaigns. Estimating spatial and temporal variability of ANPP at the paddock level using data provided by remote sensors allows a more efficient planning of forage production in livestock systems based on less sampling effort and greater spatial and temporal coverage in the analysis.

**Key Words:** alfalfa; ANPP; spatial variability; temporal variability; climate.

## Introducción

La alfalfa es uno de los recursos forrajeros de mayor importancia en sistemas ganaderos ubicados en el centro-sur de la Provincia de Córdoba, Argentina (Barberis *et al.*, 2019; Bonvillani, *et al.*, 2019). Se caracteriza por su alta productividad primaria neta aérea (PPNA) y calidad de forraje, tanto para pastoreo directo como para henificación. Presenta buena adaptación a una amplia gama de condiciones de suelo y clima, y mejora la fertilidad de los suelos (Espósito, 2007). En la zona mencionada, este cultivo es destinado principalmente a la henificación (Barberis *et al.*, 2019), por lo que adquiere especial importancia para el periodo invernal, cuando la falta de forraje es una de las principales limitantes (Larrea, 1981; citado por Pagliaricci y Pereyra, 2006).

Para un correcto manejo de los sistemas ganaderos resulta necesario conocer la PPNA a nivel de lote. Conocer la PPNA es fundamental para, por un lado, establecer la carga animal adecuada (Oesterheld *et al.*, 2014). Por otro lado, conocer la PPNA permite manejar más objetivamente los excesos y déficits de forraje. Existe evidencia zonal de la variación de la PPNA en parcelas experimentales (Druille *et al.*, 2017). Sin embargo, la información disponible sobre su variación a nivel de lote en producción resulta escasa.

La falta de información de la PPNA a nivel de lote se debe principalmente a las limitaciones para estimarla a campo. La aproximación más usada para estimar la PPNA a campo es mediante las cosechas sucesivas de biomasa (Oesterheld *et al.* 2014). La diferencia de biomasa cosechada entre dos fechas sucesivas representa a la PPNA, siempre y cuando se excluya el pastoreo y la senescencia sea mínima. Se estima separadamente la biomasa verde por especie, el tejido seco en pie y la broza para intentar captar todos los posibles flujos que pueda seguir la biomasa, lo cual demanda un gran esfuerzo de muestreo.

La estimación de la PPNA a partir de un modelo basado en datos provistos por sensores remotos es una alternativa ante la falta de información. Se puede utilizar el modelo propuesto por Monteith (1972), donde la PPNA es el resultado del producto entre la radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAA) y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR). La RFAA es el producto entre la radiación fotosintéticamente activa incidente (RFA) y la fracción de esta que es absorbida por la vegetación (fRFAA) mientras que la EUR es la conversión de energía absorbida en biomasa aérea producida, es decir, el cociente entre la RFAA y la PPNA (Oyarzabal *et al.*, 2010; Paruelo y Caride, 2014). Estimar la PPNA mediante este modelo permite realizar un análisis más detallado de su variabilidad a partir de una mayor cobertura espacial (lotes en producción) y temporal (dentro y entre campañas).

La PPNA es muy variable en el espacio y en el tiempo a distintas escalas (Oesterheld *et al.* 2014). En el espacio, varía fuertemente entre sitios a lo largo de gradientes regionales de precipitación (Lauenroth y Sala, 1992). A escala más detallada, de paisaje o de sitio, varía en relación con gradientes topográficos, edáficos o de disturbio (Oesterheld *et al.*, 1999). A lo largo del tiempo, la variación de la PPNA se registra en un sitio específico entre o dentro de una misma campaña, y generan incertidumbre en el manejo de recursos forrajeros para la explotación ganadera.



La variación de la PPNA puede ser explicada por la temperatura y la precipitación. A lo largo del tiempo, la temperatura y la precipitación controlan fuertemente la variación de la PPNA de pastizales (Lauenroth y Sala, 1992). La PPNA de cultivos de alfalfa de un área responde a la temperatura y precipitación según las características físicas y químicas de cada tipo de suelo (Collino *et al.*, 2005).

### *Objetivos*

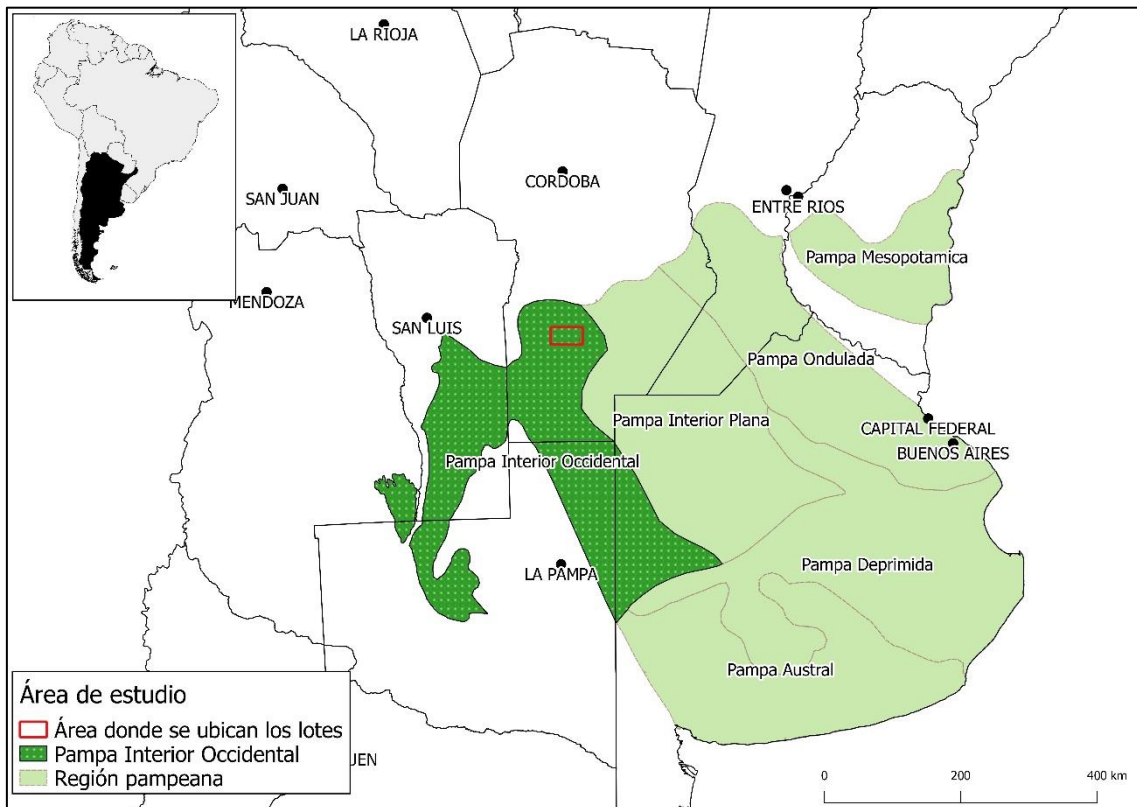
El objetivo del presente trabajo es analizar la variabilidad espacial y temporal de la PPNA de 8 lotes cultivados con alfalfa a lo largo de tres campañas en la región pampeana de la Argentina.

## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

El área de estudio estuvo conformada por un conjunto de 8 lotes cultivados con alfalfa (*Medicago sativa* L.), ubicados en la región pampeana, específicamente en la subregión denominada Pampa Interior Occidental o estepa psamofítica de *Sorghastrum pellitum* y *Elionurus muticus* (Oyarzabal *et al.*, 2018).

Geográficamente, 3 lotes se localizan en el sureste del Departamento Río Cuarto y 5 lotes en el noroeste del Departamento Juárez Celman de la Provincia de Córdoba (figura 1).



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio. El recuadro abarca los ocho lotes bajo estudio ubicados en la subregión Pampa Interior Occidental. Elaboración propia a partir de Oyarzabal *et al.*, (2018).

El clima predominante en el área donde se ubican los lotes es templado y presenta un régimen de precipitación de tipo monzónico, con periodo invernal seco. La temperatura media del mes más caluroso (enero) es de 23 °C y la del mes más frío (julio) es de 8 °C, con un periodo libre de heladas de 6 meses.

## Metodología

Se delimitaron 3 campañas (2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020) mediante un registro de campo donde estaba detallado el periodo de tiempo en el cual cada lote estuvo destinado exclusivamente al cultivo de alfalfa. Fueron seleccionados, dentro de cada lote, píxeles del sensor MODIS (del inglés Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satélite Terra del Sistema de Observación Terrestre (EOS AM-1) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Este sensor cuenta con una resolución temporal diaria y una resolución espacial de 5.3 ha. En total fueron seleccionados 13 píxeles distribuidos en los 8 lotes analizados.

Se utilizó el producto MOD13Q1 V6 de MODIS para obtener series históricas del Índice de Vegetación Normalizado (IVN) para cada píxel a una resolución temporal de 16 días y una resolución espacial de 250 m. A partir del IVN, se calculó la fRFAA mediante un modelo calibrado (Grigera y Oesterheld, 2020) que asocia un valor de fRFAA para un valor dado de IVN. La radiación fotosintéticamente activa incidente (RFA) fue obtenida del sitio web Data Acces Viewer de la NASA, estimada como el 48% de la radiación incidente (McCree, 1972). Los datos de temperatura (°C) y precipitación (mm) fueron obtenidos del mismo sitio web.

Para el cálculo de la PPNA, se utilizó un modelo calibrado para pasturas en tierras altas de la región pampeana (Grigera *et al.*, 2007). Se utilizó la siguiente fórmula:

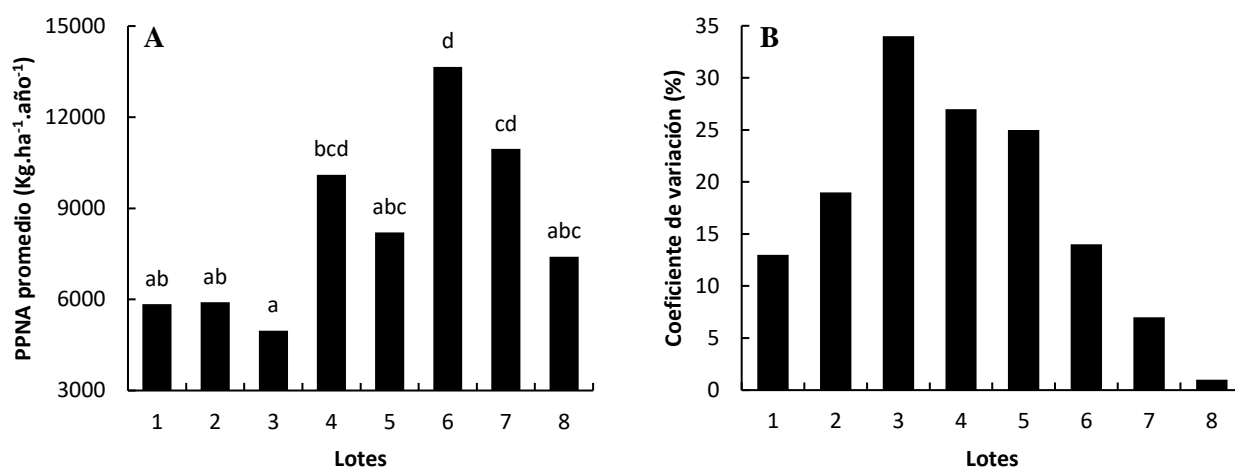
$$PPNA=0,6*RFAA+12/60$$

Se describió la magnitud de la PPNA, así como sus patrones de variabilidad, mediante ANOVA (del inglés, Analysis of variance) y el coeficiente de variación (CV%). Por último, se realizó el análisis de la variación y temporal de la PPNA con relación a la temperatura (°C) y la precipitación (mm) mediante regresiones lineales simples y regresiones lineales múltiples.

## Resultados

### *Variabilidad espacial*

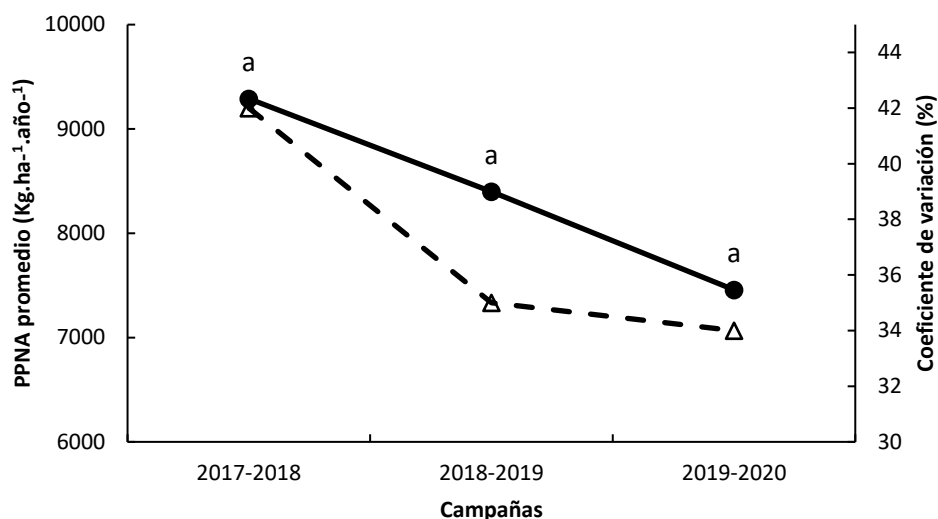
La PPNA anual varió entre lotes. La PPNA de los lotes 4, 6 y 7 superó al resto de los lotes, que fue, en promedio, 44% más baja (figura 2A). No se evidenciaron diferencias significativas entre los 3 lotes más productivos, así como entre los 5 lotes menos productivos (figura 2A). El lote 3 presentó la mayor variabilidad entre campañas, con un CV de 34% (figura 2B). El lote 8 presentó la menor variabilidad entre campañas, con un CV de 1% (figura 2B).



**Figura 2.** A) Variabilidad espacial de la Productividad Primaria Neta Aérea promedio (PPNA; Kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) de ocho lotes con alfalfa en tres campañas: 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). B) Variabilidad de la PPNA promedio entre campañas para cada lote estimada con el coeficiente de variación (CV %).

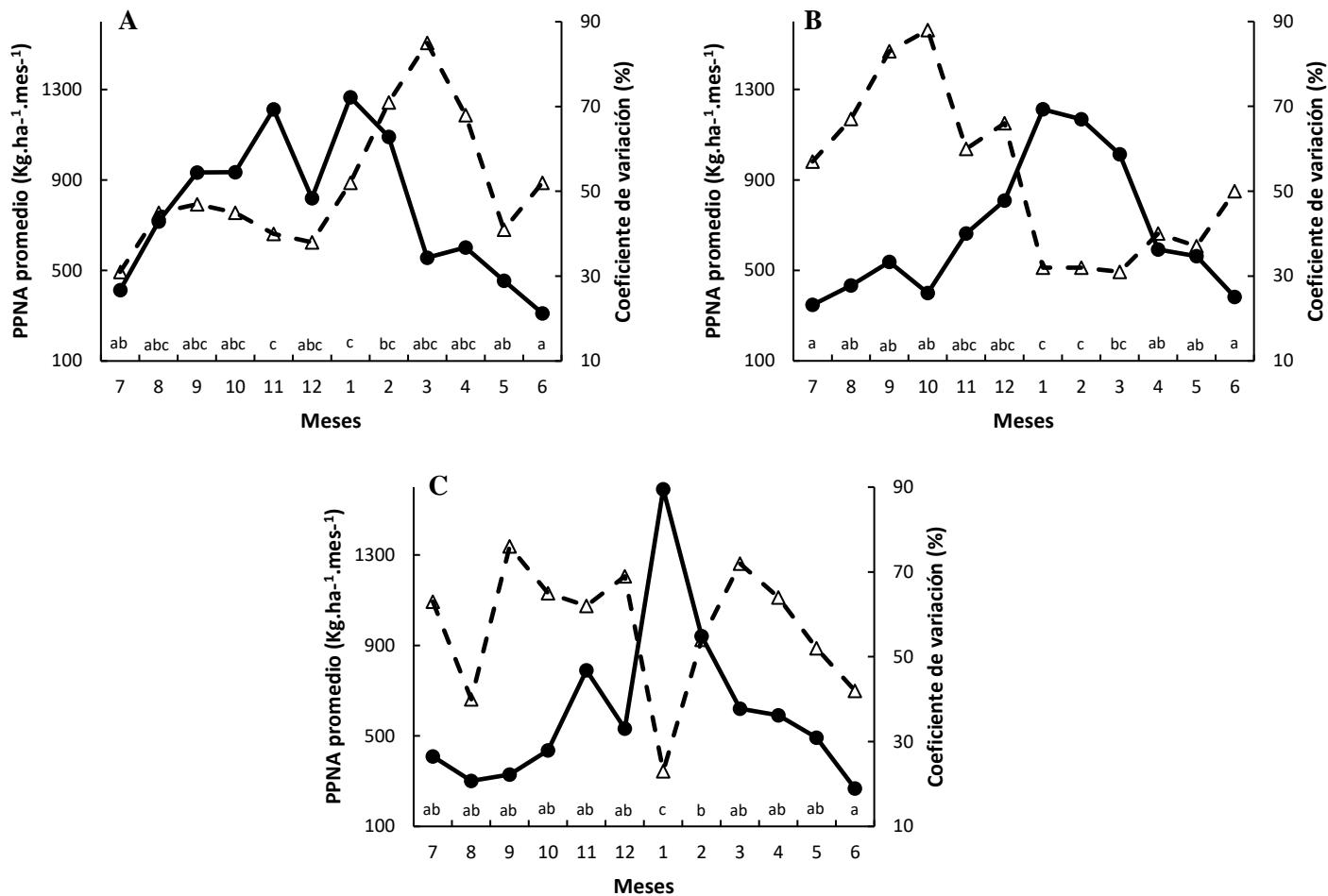
### Variabilidad temporal

La PPNA no varió significativamente entre campañas (figura 3). El descenso de la PPNA del orden del 10,5% promedio entre campañas no fue significativo. Para cada campaña, la variabilidad de la PPNA (CV%) entre lotes fue del 42%, 35% y 34%, respectivamente.



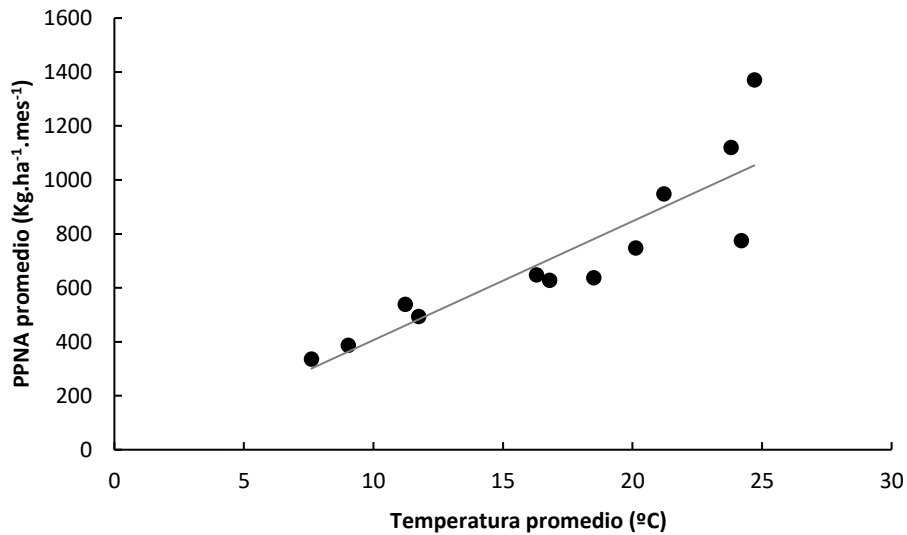
**Figura 3.** Dinámica de la PPNA promedio (Kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) entre campañas (eje izquierdo, línea sólida con círculos llenos). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ( $p \geq 0,05$ ). Variabilidad de la PPNA promedio entre lotes estimada con el coeficiente de variación (CV %; eje derecho, línea entrecortada con marcas triangulares).

La PPNA promedio mensual varió significativamente en las tres campañas analizadas (figura 4). En la campaña 2017-2018, la PPNA promedio fue máxima en los meses de noviembre, enero y febrero (primavera-verano). La PPNA de los meses del resto de la campaña fue, en promedio, 46% más baja. La PPNA del mes 3 presentó la mayor variabilidad entre lotes para esta campaña, con un CV 85% (figura 4A), mientras que la menor variabilidad se registró en el mes 7 con un CV de 31%. En la campaña 2018-2019, la PPNA fue máxima en los meses 1, 2 y 3 (verano). Los meses del resto de la campaña presentaron una PPNA 54% más baja. La PPNA del mes 10 presenta la máxima variabilidad con un CV 88% (figura 4B) mientras que en el mes 3 se registró la menor variabilidad con un CV de 31%. Finalmente, en la campaña 2019-2020, la PPNA máxima se registró en el mes de enero (verano). La PPNA de los meses del resto de la campaña fue un 62% más baja. Para esta campaña, la PPNA del mes 9 presentó la mayor variabilidad con un CV de 76% mientras que en el mes 1 se registró la menor variabilidad con un CV 23% (figura 4C).



**Figura 4.** Dinámica de la PPNA promedio mensual de cada campaña: A) 2017-2018; B) 2018-2019 y C) 2019-2020. En el eje izquierdo se indica la PPNA mensual (Kg.ha<sup>-1</sup>.mes<sup>-1</sup>; línea sólida con círculos llenos). Letras diferentes indican diferencias significativas entre meses ( $p \leq 0,05$ ). En el eje derecho se indica el coeficiente de variación para cada mes de cada campaña (CV%; línea entrecortada con marcas triangulares).

La temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la precipitación mensual ( $\text{mm.mes}^{-1}$ ) tuvieron una fuerte correlación entre sí, con un  $r = 0,86$ . La temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ ) explicó el 77% de la variación intra-campaña de la PPNA promedio ( $\text{Kg.ha}^{-1}.\text{mes}^{-1}$ ) de tres campañas (figura 5). La precipitación no explicó esta variación. La relación lineal positiva entre la temperatura y la PPNA indicó que, dentro del dominio del modelo, por cada unidad de  $^{\circ}\text{C}$  que aumentó la temperatura, la PPNA promedio aumentó  $34 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{mes}^{-1}$ .



**Figura 5.** Regresión lineal simple entre la PPNA promedio ( $\text{Kg.ha}^{-1}.\text{mes}^{-1}$ ) y temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ ) de tres campañas (2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020). Cada punto corresponde a un mes. La recta representa el modelo lineal estimado ( $n=12$ ;  $R^2=0,77$ ;  $\text{PPNA} = 44 * \text{Temperatura } (^{\circ}\text{C}) - 34$ ; Valor  $P < 0,0001$ ).

## Discusión

La PPNA anual promedio varió entre 4.970 y 13.655 Kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> entre lotes. Un estudio realizado en parcelas experimentales ubicadas en la región pampeana en un área con características climáticas similares a las del área de estudio del presente trabajo, informó que la PPNA promedio anual para cinco campañas varió entre 7.514 y 14.262 Kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> (Druille *et al.*, 2017). Se evidencia una brecha entre la PPNA de lotes en producción y parcelas experimentales. Esta brecha es mayor en los valores mínimos de PPNA y es menor en los valores máximos de PPNA. Estas diferencias de la dinámica de PPNA entre lotes en producción y parcelas experimentales podrían deberse a factores como la presencia o ausencia del pastoreo, así como su intensidad y frecuencia entre otras variables edáficas y climáticas cuyo abordaje excede al objetivo del presente estudio.

La PPNA anual no varió entre campañas y sí varió entre meses. La variación entre campañas fue de 34-42% (figura 3). En cambio, la variación entre meses fue mucho mayor: para la campaña 2017-2018 con un CV entre el 31-85%, para la campaña 2018-2019 un CV en el rango del 31-88% mientras que, para la campaña 2019-2020, un CV en el rango del 23-76% (figura 4). La variabilidad fue mucho mayor entre meses que entre campañas mostrando un comportamiento altamente estacional de la alfalfa cuya mayor producción se concentra en los meses de primavera-verano (Druille *et al.* 2017).

La temperatura explicó la mayor parte de la variabilidad de la PPNA mensual (intra-campaña), a diferencia de otros estudios donde la precipitación anual explicó la mayor parte de esta variabilidad en pasturas ubicadas en la región pampeana de Argentina (Durante *et. al.*, 2016; Druille *et. al.*, 2017). La relación positiva entre PPNA y temperatura también fue informada en pastizales de grandes llanuras de Estados Unidos donde la temperatura explicó los patrones de PPNA después de tener en cuenta la variabilidad explicada por la precipitación (Epstein *et. al.*, 1996; Epstein *et. al.*, 1997; Epstein *et. al.*, 1998).

Estos resultados tienen una extrapolación limitada debido a que se utilizó una EUR constante estimada mediante un modelo que fue calibrado para el cálculo de la PPNA, específicamente, para pasturas de la región pampeana de Argentina (Grigera *et al.* 2007). A diferencia del presente trabajo, un estudio realizado en parcelas experimentales de alfalfa en la Provincia de Córdoba, Argentina, utilizó una EUR variable e informó una relación positiva entre la EUR y la temperatura (Collino *et al.*, 2005). A pesar de haberse utilizado una EUR constante, en el presente trabajo la única variable que explicó la variación de la PPNA mensual fue la temperatura. La utilización de una EUR variable, con relación positiva con la temperatura, aumentaría el ajuste del modelo lineal que asocia la PPNA con la temperatura.

Estimar la variabilidad de la PPNA a nivel de lotes en producción mediante datos provistos por sensores remotos reduce los esfuerzos de muestreo y, en la práctica, permite una mayor cobertura espacial y temporal. En el área de la región pampeana donde se localizó el presente estudio, el cultivo de alfalfa es destinado principalmente a la henificación. Por lo tanto, conocer la variabilidad de la PPNA es fundamental para estimar la cantidad de heno que puede ser producido, así como establecer la carga animal adecuada y manejar los excesos y déficits de forraje de manera a obtener una mejor gestión de los sistemas pastoriles.



## Referencias bibliográficas

- Bonvillani, M. J., Ohanian, A., González, S., Salusso, N., Ohanian, I., Pereyra, T., & Pagliaricci, H. (2019). Efecto de la temperatura y fotoperíodo durante la germinación y emergencia de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con distintos grados de reposo invernal. *Revista Científica FAV-UNRC Ab Intus*, 3(2), 21-30.
- Cabrera, Á. L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. En: W. F. Kugler, *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Tomo 2 (Segunda ed., págs. 1-85). Buenos Aires: Acme.
- Centeno, A. (2011). Productividad de la alfalfa y elección de cultivares. San Francisco, Córdoba. Sitio Argentino de Producción Animal. URL [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_alfalfa/118-Productividad.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/118-Productividad.pdf)
- Collino, D. J., Dardanelli, J. L., De Luca, M. J., & Racca, R. W. (2005). Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture* (45), 383-390.
- Druille, M., Deregibus, V., & Garbulsky, M. F. (2017). Environmental controls of lucerne (*Medicago sativa* L.) growth across a climatic and edaphic gradient. *Agriscientia*, 34(2), 13-23.
- Durante, M., Piñeiro, G., Irisarri, G., & Oesterheld, M. (2016). Primary production of lowland natural grasslands and upland sown pastures Across a Narrow Climatic Gradient. *Ecosystems*. nro? ???
- Epstein, H. E., Lauenroth, W. K., & Burke, I. C. (1997). Effects of temperature and soil texture in ANPP in the U.S. Great Plains. *Ecology*, 78, 2628-2631.
- Epstein, H. E., Lauenroth, W. K., Burke, I. C., & Coffin, D. P. (1996). Ecological responses of dominant grasses along two climatic gradients in the Great Plains of the United States. *Journal of Vegetation Science*, 7, 777-788.
- Epstein, H. E., Lauenroth, W. K., Burke, I. C., & Coffin, D. P. (1998). Regional productivities of plant species in the Great Plains of the United States. *Plant Ecology*, 134, 173-195.
- Espósito, G. (2007). Doce años de experimentación con ganadería en siembra directa. 4to Simposio de Ganadería en Siembra Directa. Otro ambiente. Otra agricultura. Otra ganadería. Aapresid, (págs. 19-27). San Luis.
- Grigera, G., & Oesterheld, M. (2020). Variability of radiation use efficiency in mixed pastures under varying resource availability, defoliation and time scale. *Grassland Science*. volumen?, 1-11.
- Grigera, G., Oesterheld, M., & Pacín, F. (2007). Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems*, 94, 637-648.

- Lauenroth, W.K. & Sala, O.E. 1992. Long-term forage production of North American shortgrass steppe. *Ecological Applications*, 2, 397-403.
- McCree, K.j. (1972). Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology* 10, 442-453.
- Mónaco, C., & Santa, M. (2017). Relación entre biomasa aérea y producción primaria neta con las variaciones estacionales de precipitaciones y temperaturas en pastizales del sur de la Provincia de Córdoba. *European Scientific Journal*, XIII (5), 117-133.
- Oesterheld, M., Oyarzabal, M., & Paruelo, J. (2014). Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica al estudio y seguimiento de los sistemas ganaderos. En J. Paruelo, C. Di Bella, & M. Milkovic, *Percepción remota y sistemas de información geográfica. Sus aplicaciones en Agronomía y Ciencias Ambientales* (págs. 283-301). Buenos Aires: Editorial Hemisferio Sur S.A.
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., Maturo, H., Aragón, R., Campanello, P., Prado, D., Oesterheld, M., & León, R. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28, 40-63.
- Oyarzabal, M., Oesterheld, M. & Grigera, G. (2010). ¿Cómo estimar la eficiencia en el uso de la radiación mediante sensores remotos y cosechas de biomasa?. En Altesor, A., Ayala, W., & Paruelo, J. M. (eds.). *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales*. 119-131. INIA, Proyecto FPTA 175. Montevideo, Uruguay.
- Pagliaricci, H. R., & Pereyra, T. W. (2006). Nota técnica: Producción y distribución de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) intersebrada con cereales forrajeros de invierno. *Archivo Latinoamericano de Producción Animal - ALPA*, 14(4), 115-119.
- Paruelo, J. M., Oyarzabal, M., & Oesterheld, M. (2010). El seguimiento de los recursos forrajeros mediante sensores remotos: bases y aplicaciones. En Altesor, A., Ayala, W., & Paruelo, J. M. (eds.). *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales*. 135-145. INIA, Proyecto FPTA 175. Montevideo, Uruguay.
- Paruelo, J., & Caride, C. (2014). Estimación de variables biofísicas a partir de datos espectrales. En; J. Paruelo, C. Di Bella, & M. Milkovic, *Percepción remota y sistemas de información geográfica. Sus aplicaciones en Agronomía y Ciencias Ambientales* (págs. 203-226). Buenos Aires: Editorial Hemisferio Sur S.A.