

CARACTERIZACION REGIONAL DE LOS RECURSOS FORRAJEROS DE LAS ZONAS TEMPLADAS DE ARGENTINA MEDIANTE IMAGENES SATELITARIAS

Regional characterization of forage resources in temperate Argentina using satellite imagery

PARUELO¹, J.M., GARBULSKY, M.F., GUERSCHMAN, J.P. Y OESTERHELD, M.

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía

RESUMEN

Para una adecuada planificación y manejo de los recursos forrajeros es necesario conocer tres aspectos fundamentales de la productividad primaria neta aérea (PPNA): 1) la PPNA anual promedio, 2) su variación estacional promedio y 3) la variabilidad entre años de la productividad. Usando como base la relación entre datos satelitales y PPNA para pastizales, presentamos un análisis de estos aspectos para ecosistemas de pastizal y arbustal templados de la Argentina. La PPNA anual promedio aumenta gradualmente desde las estepas patagónicas (menos de 0,2 Mg.ha⁻¹.año⁻¹) hasta los pastizales de la Pampa Inundable y la Mesopotamia (más de 6 Mg.ha⁻¹.año⁻¹). La variación estacional promedio muestra en la mayoría de los sistemas un solo pico de máxima, los cuales a su vez tienen distintos momentos de ocurrencia y de extensión según los ecosistemas. La variabilidad interanual relativa de la PPNA anual cae exponencialmente a medida que aumenta la PPNA promedio, lo cual sugiere que, en términos relativos, la incertidumbre respecto de la planificación para este aspecto será mucho mayor en ambientes de baja producción. Las investigaciones actualmente en marcha sobre el uso de información satelital permitirán mejores estimaciones de la PPNA y, eventualmente, posibilitarán el desarrollo de sistemas de pronóstico de la PPNA.

Palabras clave: productividad primaria, variabilidad, planificación forrajera, Argentina templada, imágenes satelitarias.

SUMMARY

A proper management of forage resources needs information on three fundamental characteristics of aboveground net primary production (ANPP): 1) the average ANPP, 2) the average seasonal variation of primary production and 3) the interannual variability of primary production. We present here an analysis of these characteristics for grasslands and shrublands of temperate Argentina based on the relationship between satellite data and ANPP developed for grassland ecosystems. ANPP increases gradually from the Patagonian steppes (less than 0.2 Mg.ha⁻¹.year⁻¹) to the Flooding Pampa and Mesopotamic grasslands (more than 6 Mg.ha⁻¹.year⁻¹). In most of the systems the average seasonal variation of primary production shows just one peak. The date and length of the peak varied across the region. The interannual variability of primary production decreases exponentially with increases in average ANPP, suggesting that the relative uncertainty to plan forage uses will be high in the less productive environment. On going research on the use of satellite data will provide better estimates of ANPP and, eventually, will allow for the development of ANPP forecast systems.

Key words: primary productivity, variability, range management, temperate Argentina, satellite imagery.

INTRODUCCION

La ganadería se basa no sólo en pasturas cultivadas o cultivos forrajeros anuales sino también en una amplia gama de pastizales y arbustales, desde praderas húmedas en la Pampa inundable a semidesiertos en partes de la Patagonia. Los recursos forrajeros de las zonas templadas de Argentina son particularmente variables y para diseñar sistemas de producción eficientes necesitamos conocer esa heterogeneidad y ajustarlos a ella.

Conocemos relativamente bien la heterogeneidad regional de los recursos forrajeros en términos de la estructura de la vegetación, pero en cambio sabemos bastante poco acerca de las diferencias en su funcionamiento. Por ejemplo, las variaciones de composición de especies, proporción de arbustos, importancia relativa de plantas con valor forrajero o la proporción de especies invernales y estivales son bien conocidas. Pero ¿cómo cambia un atributo esencial de los recursos forrajeros como la productividad?

La productividad primaria neta aérea (PPNA), la tasa de acumulación de biomasa, es un aspecto clave del funcionamiento de un ecosistema ganadero, ya que es el determinante principal de la carga animal (17, 15, 6). La PPNA define la energía total disponible para los herbívoros y se asocia a la eficiencia de cosecha del forraje. La proporción de forraje consumido por los herbívoros aumenta con la PPNA (17). Así en un sistema árido la proporción de la PPNA consumida es menor al 15% mientras que en un pastizal subhúmedo puede superar el 40% (6).

Hay tres aspectos de la variación de PPNA en ecosistemas forrajeros que son fundamentales para la planificación a largo plazo y para la evaluación de riesgos. El primero es el valor promedio anual: cuánto se espera que el recurso produzca por año en el largo plazo. El segundo es el patrón estacional promedio: en qué momentos del año se espera, en promedio, que se produzcan picos y valles de producción. Esta dinámica "promedio" anual y estacional de la productividad primaria es la base de cualquier presupuesto forrajero, tanto para recursos cultivados como naturales. El tercer aspecto fundamental es la variabilidad interanual de la productividad y de su dinámica: cómo varía la productividad anual entre años y cómo varía la magnitud y los momentos de ocurrencia de picos y valles en la marcha estacional de cada año.

A pesar de la importancia de estos aspectos, la disponibilidad de datos es escasa. Por ejemplo, para pastizales de la Argentina sólo pudieron encontrarse datos publicados de PPNA anual de algún año en 14 sitios (12). Sólo para estepas patagónicas contamos con datos de una serie de varios años (5, 2, 11). En términos de variación estacional, además de los mismos datos de la Patagonia contamos para la porción subhúmeda a húmeda de la región pampeana con unas pocas publicaciones (3, 26, 1, 23, 14, 7). La disponibilidad de datos sobre la dinámica estacional de la PPNA está seriamente condicionada por el esfuerzo y dificultades logísticas para su realización. A esto se suman importantes dificultades asociadas a las metodologías usadas para su estimación (25).

En este artículo presentamos estimaciones de PPNA anual promedio, de su variación estacional promedio, de la variabilidad interanual de la PPNA anual y de la variabilidad interanual del patrón estacional de la PPNA de pastizales y arbustales a partir de datos satelitarios y esbozamos su potencial para caracterizar los recursos forrajeros de las zonas templadas de Argentina.

ESTIMACION DE LA PPNA A PARTIR DE SENSORES REMOTOS

Numerosos trabajos discuten las características y potencialidades del Índice Verde Normalizado derivado de imágenes satelitarias NOAA-AVHRR para caracterizar las ganancias de carbono de los ecosistemas (ver por ejemplo 27). Este índice resulta de combinar la reflectancia registrada por el satélite en dos bandas de longitud de onda, la roja (R) y la infrarroja (IR) ($IVN = (IR-R)/(IR+R)$). El IVN es un estimador de la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (FRFAA) por el canopy (4, 27).

Esta relación provee la base teórica de la conexión entre el IVN y la PPNA. Montheith (13) postula que la PPNA es directamente proporcional a la cantidad de radiación fotosintéticamente activa absorbida por el canopy (RFAA). La constante de proporcionalidad corresponde a la eficiencia de conversión de energía radiante en biomasa. La posibilidad de estimar la fracción de radiación absorbida por el canopy a partir del IVN y la conexión entre la radiación absorbida y la PPNA justifica desde el punto de vista teórico el uso de datos espectrales para la estimación de la productividad de la vegetación.

Los primeros intentos de calibrar la relación IVN - PPNA fueron realizados en pastizales anuales del Sahel, en Africa (24, 29). Paruelo, Epstein, Lauenroth y Burke (20) presentaron una relación entre la integral anual promedio del IVN derivado de los satélites NOAA-AVHRR y la PPNA media para áreas de pastizal de Norteamérica con precipitaciones medias anuales entre 280 y 1150 mm y temperaturas medias entre 4 °C y 20 °C. La ecuación de dicha calibración es:

$$PPNA (g/m^2 \cdot año) = 3803 \cdot INT IVN^{1.9078} \quad (r^2=0.93, n=19, p<0.001). \quad (1)$$

Si bien esta relación no es universal, produce estimaciones razonables de la PPNA media de pastizales templados.

Estudios recientes para pastizales y pasturas de la Depresión del Salado (22) y para estepas graminoso-arbustivas de Patagonia (11) muestran una estrecha asociación entre estas variables para valores de IVN derivados tanto de datos NOAA/AVHRR (resolución espacial 1 km) como para de datos Landsat TM (resolución espacial 30 m). La información satelitaria y los estudios acerca del significado biológico de los datos espectrales son un valioso auxiliar para la caracterización regional de los recursos forrajeros. La disponibilidad de calibraciones locales ofrece enormes posibilidades para evaluar y entender el funcionamiento de los recursos forrajeros. Estas calibraciones son a su vez la base de sistemas de pronóstico forrajero a escala regional.

Para evaluar los patrones anuales de PPNA, en este trabajo utilizamos la integral anual del IVN promedio para el período 1981-1992. Esta variable fue transformada en PPNA usando la ecuación (1). La integral anual de cada año fue calculada a partir de 36 imágenes compuestas decádicas. La información usada corresponde a la base de datos Pathfinder AVHRR elaborada por la NASA (8). La resolución espacial de esta base de datos es de 8x8 km. Estos datos han sido extensivamente usados en análisis regionales en nuestro país (18, 19, 22, 10). Para estimar la PPNA en distintos momentos del año, utilizamos la misma ecuación. Si bien la relación entre la PPNA estacional y el IVN ha sido mucho menos estudiada, la información preliminar (22) sugiere que el patrón de respuesta es similar.

VARIACION REGIONAL DE LA PPNA DE LAS ZONAS TEMPLADAS DE ARGENTINA

El primero de los aspectos indicados más arriba es la heterogeneidad de la PPNA anual: ¿cuánto produce anualmente en promedio cada sistema? La Figura 1 muestra una estimación de la PPNA de la vegetación de aquellas áreas del país en donde la ganadería es dominante (departamentos con menos de 30% de agricultura). La PPNA promedio para la región considerada varía entre 0,1 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en el centro de la Patagonia y más de 6 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en los pastizales de la Depresión del Salado o del norte de Entre Ríos.

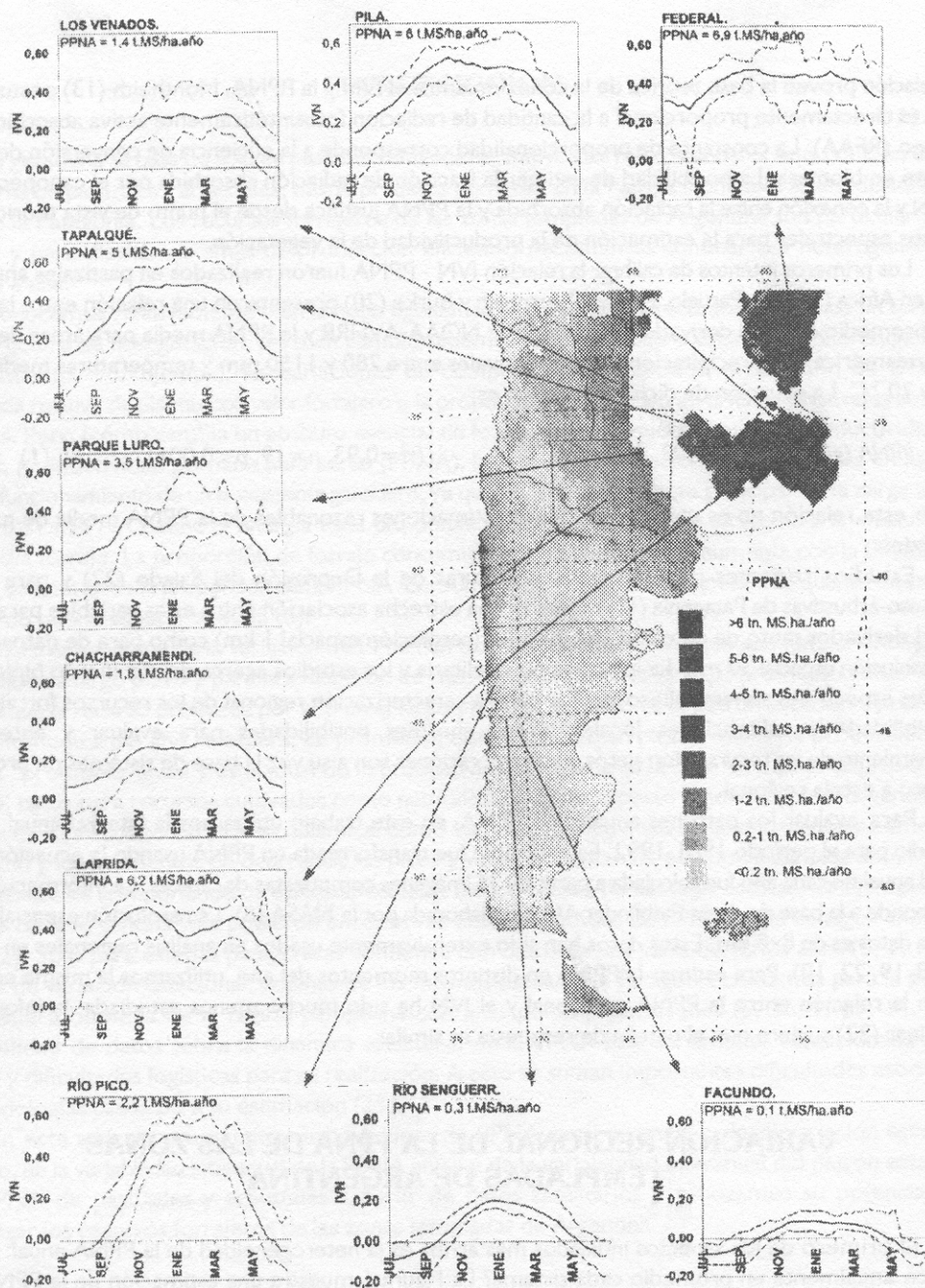


FIGURA 1: Dinámica estacional del IVN y valores de PPNA para diez áreas ganaderas del país. En los gráficos para cada área, la línea llena muestra la media 1981-1992 y la punteada muestra los valores máximos y mínimos para el mismo período. Los valores de PPNA fueron calculados mediante la ecuación propuesta por Paruelo et al. (1997) y los valores de IVN

Figure 1: Annual NDVI dynamics and ANPP for ten livestock production areas in temperate Argentina. Solid line represents the average NDVI for 1981-1992 and the dotted lines the maximum and minimum for the same period. ANPP was calculated using the relation proposed by Paruelo et al. (1997) and NDVI data.

El siguiente aspecto fundamental para la planificación forrajera es ¿cuál es la marcha estacional promedio de la PPNA en los distintos sistemas? Esto permite identificar el momento de máxima y mínima productividad y la duración de los períodos de alta y baja productividad. Esto es lo que se ha indicado con una línea llena en los distintos diagramas de la Figura 1, representativos de distintas regiones de pastizal y arbustal. La integral debajo de esa curva es la PPNA anual que figura en el mapa, mientras que la marcha estacional de la curva indica el patrón estacional promedio de la PPNA en cada sitio. Un rasgo destacable de estas curvas es que en general tienen un sólo momento de máxima y un sólo momento de mínima en el año, algo que contrasta con el frecuentemente mencionado patrón "bimodal" con máximos en primavera y otoño y mínimos en verano e invierno. Estamos investigando en qué medida esto resulta de que se trata de valores promedio que enmascaran la variación estacional de cada año o si es un patrón también observable cada año.

El tercer aspecto fundamental es la variabilidad interanual de la productividad. Tanto los datos analizados para este trabajo como otros ya previamente publicados (21, 10, 15, 16) muestran que a lo largo del gradiente de PPNA anual que mostramos en la figura 1 también hay un fuerte gradiente de variabilidad interanual de esa productividad: a medida que la productividad anual aumenta, su variabilidad interanual relativa disminuye exponencialmente (Figura 2). Es decir, la incertidumbre respecto de la productividad de cada año es, en términos relativos, mucho mayor en sistemas de baja producción. No es necesario resaltar la importancia de esto cuando se trata de planificar el manejo forrajero. Cuantificar este aspecto de la producción de forraje posibilita la definición de sistemas de producción que en lugar de adaptarse a los valores mínimos de disponibilidad forrajera para reducir riesgos, puedan aprovechar de manera más eficientes los recursos. También la variabilidad interanual de la PPNA a escala estacional es importante. Esto se muestra mediante las líneas punteadas de la figura 1 que representan los valores máximos y mínimos de PPNA para cada momento del año en la serie 1981-1992. Así como en el párrafo anterior analizamos el rango de variación de la PPNA anual entre años, este análisis permite cuantificar para cada sitio el rango de variación de cada período de 10 días entre años. Por ejemplo, en Chacharramendi hay una gran incertidumbre respecto de los máximos valores en el período de marzo a mayo, en las estepas patagónicas de Río Senguer hay grandes variaciones en el pico de verano de enero a mayo y en las de Facundo son particularmente variables los valores máximos del otoño en abril y mayo (Figura 1).

OTROS USOS POTENCIALES DE ESTA HERRAMIENTA: EL PRONOSTICO

Los satélites permiten contar con datos de PPNA con una alta cobertura espacial y temporal. La cobertura temporal es particularmente importante para el desarrollo de sistemas de pronóstico. El contar con 18 años de datos permite generar y evaluar modelos de la relación entre variables meteorológicas y el MN útiles para evaluar escenarios futuros de disponibilidad forrajera. Resultados para una serie de sitios en Patagonia muestran que mediante el uso de redes neuronales artificiales es posible predecir con un nivel aceptable de error el MN, y por lo tanto la productividad, con seis meses de anticipación usando los valores de MN y la precipitación acumulada de los 3 meses previos (28). Es muy probable que los próximos años muestren importantes progresos en este sentido.

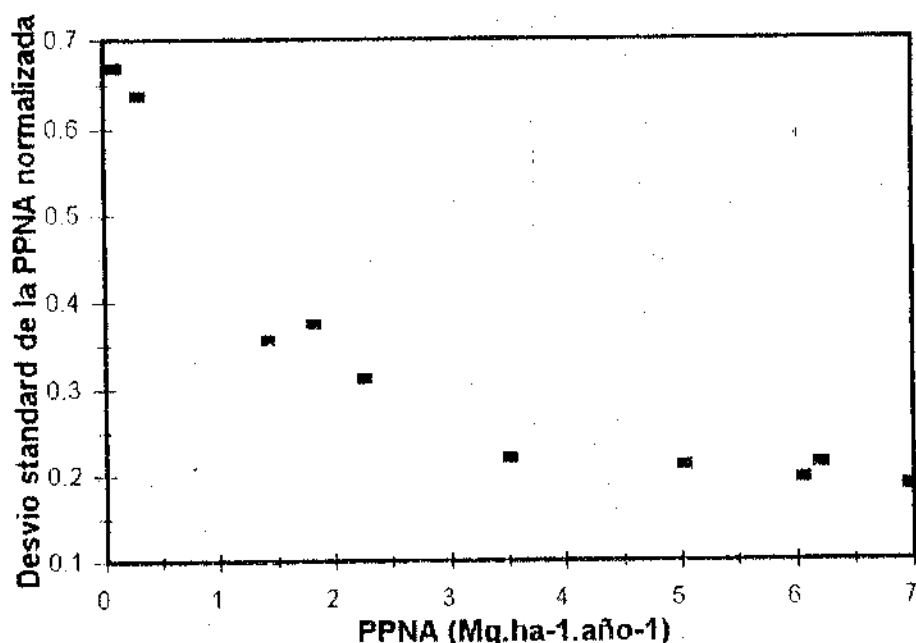


FIGURA 2: Relación entre la variabilidad interanual de la PPNA en 11 años (1981-1992) y la PPNA promedio para los 10 sitios mostrados en la figura 1. Los valores anuales de PPNA de cada sitio fueron normalizados para permitir la comparación de los desvíos estándar.

Figure 2: Relationship between ANPP interannual variability for 11 years (1981-1992) and mean ANPP for the 10 sites showed in figure 1. Annual values of ANPP of each site were normalized in order to compare standard deviations.

BIBLIOGRAFIA

1. CAUHÉPÉ, M.A. y FERNÁNDEZ GRECCO, R. 1981. Dieta de vacunos en pastoreo sobre un pastizal de la depresión del Salado. *Producción Animal* (Buenos Aires, Argentina) 8: 85-95.
2. DEFOSE, G.E. y BERTILLER, M.B. 1990. Above-ground phytomass dynamics in a grassland steppe of Patagonia, Argentina. *J. Range Management* 43: 157-60.
3. DEREGIBUS, V.A. y SORIANO, A. 1980. Los pastizales de la zona de cría de la Depresión del Salado desde el punto de vista ecológico. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 1 (2): 60-83.
4. DYE, D.G. y GOWARD, S.N. 1993. Photosynthetically active radiation absorbed by global land vegetation in August 1984. *Int.J.Rem.Sen* 14: 3361-4.
5. FERNANDEZ, R.J., SALA, O.E. y GOLLUSCIO, R.A. 1991. Woody and herbaceous aboveground production of a patagonian steppe. *J. Range Management* 44: 434-7.
6. GOLLUSCIO, R.A., DEREGIBUS, V.A. y PARUELO, J.M. 1998. Sustainability and range management in the Patagonian steppes. *Ecología Austral* 8: 265-284.
7. HIDALGO, L. y CAUHÉPÉ, M. 1991. Producción de forraje de las comunidades de la depresión del Salado. *Revista CREA* N° 149: 58-62.
8. JAMES, M.E. y KALLURI, S.N.V. 1994. The pathfinder AVHRR land data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *Int J RemSen* 15: 3347-63.
9. JOBBAGY, E.G. y SALA, O.E. 1999. Controls of grass and shrub aboveground production in the Patagonian steppe. *Ecological Applications*, en prensa.
10. SALA, O.E. y PARUELO, J.M. 1999. Patterns and controls of primary production in the patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology*, en prensa.

11. JOUVE, V.V. y PARUELO, J.M. 1999. Calibración de la relación IVN-PPNA para un gradiente de precipitaciones en la región patagónica. XIX Reunión Argentina de Ecología, Resúmenes. Tucumán, Argentina, Abril 21-23.
12. MCNAUGHTON, S.J., SALA, O.E. y OESTERHELD, M. 1993. Comparative ecology of African and South American arid to subhumid ecosystems. *Biological Relationships between Africa and South America*. New Haven, Yale University Press: 548-67.
13. MONTEITH, J.L. 1981. Climatic variation and the growth of crops. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 107: 749-74.
14. OESTERHELD, M. y LEÓN, R.J.C. 1987. El envejecimiento de las pasturas implantadas. Su efecto sobre la productividad primaria. *Turrialba* 37: 29-36.
15. -----, DIBELLA, C.M. y KERDILES, H. 1998. Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate in grasslands. *Ecological Applications* 8: 207-212.
16. -----, LORETI, J., SEMMARTIN, M. y PARUELO, J.M. 1999. Grazing, fire, and climate in grasslands and savannas: regimes and effects on primary productivity. En L.L. Walker (ed.) *Ecosystems of disturbed grounds. Series Ecosystems of the World* (en prensa).
17. -----, SALA, O.E. y MCNAUGHTON, S.J. 1992. Effect of animal husbandry on herbivore-carrying capacity at a regional scale. *Nature* 356: 234-6.
18. PARUELO, J.M. y TOMASEL, F. 1997. Prediction of functional characteristics of ecosystems: a comparison of artificial neural networks and regression models. *Ecological Modelling* 98: 173-186.
19. -----, JOBBAGY, E.G., SALA, O.E., LAUENROTH, W.K. y BURKE, I.C. 1998. Functional and structural convergence of temperate grassland and shrubland ecosystems. *Ecological Applications* 8: 194-206.
20. -----, EPSTEIN, H.E., LAUENROTH, W.K. y BURKE, I.C. 1997. ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland region of the US. *Ecology* 78: 953-8.
21. ----- y LAUENROTH, W.K. 1998. Interannual variability of NDVI and their relationship to climate for North American shrublands and grasslands. *Journal of Biogeography* 25: 721-733.
22. -----, OESTERHELD, M., DI BELLA, C., REBELLA, C., LAFONTAINE, J., CAUHÉPE, M. y ARZADUN, M. 1998. Calibración de la relación NDVI-Productividad primaria para pastizales de la Pampa inundable. *Jornadas Argentinas de Teledetección*. CONAE, Junio 17-19, 1998.
23. PIZZIO, R.M., BENÍTEZ, C.A., FERNÁNDEZ, J.G. y ROYO PALLARÉS, O. 1986. Mejoramiento y carga animal en una pradera natural del centro de la provincia de Corrientes. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 6 (7-8): 437-449.
24. PRINCE, S.D. 1991. Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981-1988. *Int J Rem. Sen* 12: 1301-11.
25. SALA, O.E., BIONDINI, M.E. y LAUENROTH, W.K. 1988. Bias in Estimates of Primary Production: An Analytical Solution. *Ecological Modelling* 44: 43-55.
26. -----, DEREGIRUS, V.A., SCHLICHTER, T. y ALIPE, H. 1981. Productivity dynamics of a native temperate grassland in Argentina. *J. Range Management* 34 (1): 48-51.
27. SELLERS, P.J., BERRY, J.A., COLLATZ, G.J., FIELD, C.B. y HALL, F.G. 1992. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme. *Remote Sens Environ* 42: 187-216.
28. TOMASEL, F.G. y PARUELO, J.M. 1999. Primary Production estimation in grasslands of patagonia by ANN analysis of satellite and climatic data. In Lek, S. and Guegan, J.F. (eds.) *Application of artificial neural networks to ecological modelling*. Springer-Verlag (Germany) (en prensa).
29. TUCKER, C.J., VANPRAET, C.L., SHARMAN, M.J. y VAN ITTERSUM, G. 1985. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980-1984. *Remote Sens Environ* 17: 233-49.