

## Estimación de la PPNA y la capacidad de carga por ambientes mediante información satelital en un establecimiento ganadero en la Pampa Deprimida

*ANPP and carrying capacity estimation through remote sensing data at the ranch level resolution in the Flooding Pampas*

Irisarri<sup>1</sup>, J.G.N., Gundel<sup>2</sup>, P.E., Clavijo<sup>1</sup>, M.P., Durante<sup>2</sup>, M. y Sosa<sup>1</sup>, P.

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires  
IFEVA-CONICET, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

### Resumen

En sistemas de pastoreo extensivo, la productividad primaria neta aérea, PPNA, representa el principal determinante de la capacidad de carga. A escala de paisaje, existe un limitado conocimiento sobre la variación espacial y temporal de la PPNA. A partir de información novedosa provista por satélites se caracterizó la dinámica mensual de la PPNA para el período 2000-2006, cada 5,3 ha en 1000 ha en el centro de la Pampa Deprimida. Como resultado, se obtuvo una clasificación donde se diferenciaron 4 unidades funcionales. En ellas, la PPNA anual media varió entre los 6700 y 7600 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y el coeficiente de variación interanual entre 12 y 19%. En un año donde la precipitación fue un 25% menor respecto al promedio, la PPNA disminuyó en promedio un 23% dentro del área evaluada. En cambio, en un año donde la precipitación fue un 50% mayor respecto al promedio, la PPNA aumentó un 19%. Contar con este tipo de información permitió estimar la variación entre años en la capacidad de carga. En términos absolutos, la capacidad de carga varió entre 0,62 y 1,20 vacas ha<sup>-1</sup>, esto significa un cambio del 30% por encima o por debajo del valor correspondiente a un año con precipitaciones promedio.

**Palabras clave:** satélite MODIS, seguimiento forrajero.

### Summary

ANPP determines the carrying capacity of extensive cow-calf operation systems, like those of the Flooding Pampas. Management decisions are made at the landscape scale, where there is a limited knowledge of ANPP spatial and temporal variation. Relative novel satellite data, gave us the opportunity to describe monthly ANPP every 5.3 ha, in a 1000 ha area, for the 2000-2006 period. As a result, a 4 functional unit classification was obtained. ANPP varied between 6700 and 7600 kg DM ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, with an inter-annual variation between 12 and 19%. When precipitations were 25% less than average, ANPP decreased a 23%. On the other hand, when

Recibido: mayo de 2010

Aceptado: abril de 2013

1. Cátedra de Forrajicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 (C1417DSE), Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Tel.: (+54)-11-4-524-8000 int 8120 - Fax: (54)-11- 4-514-8730. E-mail: irisarri@agro.uba.ar.

2. IFEVA-CONICET, Cátedra de Ecología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

precipitations were 50% higher than average, ANPP increased only a 19%. With ANPP data, carrying capacity was estimated for each functional unit. Considering contrasting years of precipitation, the average variation was between 0,62 and 1,20 cows ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** MODIS satellite, forage monitoring system.

### Introducción

En los sistemas de producción ganadera bajo pastoreo directo resulta fundamental conocer la capacidad de carga, es decir, la densidad máxima de animales que puede sostener un determinado ambiente sin ser deteriorado (McLeod, 1997; Golluscio, 2009). No obstante, la capacidad de carga no resulta un valor estático, puede variar ya sea entre diferentes ambientes o dentro de un mismo ambiente entre años e inclusive en diferentes momentos dentro de un mismo año. Para entender cómo varía la capacidad de carga en el espacio y el tiempo, es necesario conocer sus componentes (ecuación 1) y los controles de éstos (ecuaciones 2 a 5).

$$\text{Capacidad de Carga} = \text{FC} / \text{CI} \quad (1)$$

La ecuación 1 indica que la capacidad de carga, expresada en animales.ha<sup>-1</sup>, por ejemplo vacas, es el resultado del cociente entre el forraje consumible (FC) y el consumo individual (CI) (Golluscio, 2009). A su vez,

$$\text{FC} = \text{PPNA} \times \text{IC} \quad (2)$$

El forraje consumible es el resultado del producto entre la productividad primaria neta aérea (PPNA) expresada en kg de MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y el índice de cosecha (IC), es decir, la proporción de la PPNA que puede ser consumida por el ganado. Por lo tanto al reemplazar en la ecuación 1 FC por la ecuación 2 se obtiene:

$$\text{Capacidad de Carga} = (\text{PPNA} \times \text{IC}) / \text{CI} \quad (3)$$

Esto indica que la capacidad de carga de un determinado ambiente, en un determinado momento depende de su PPNA, de la proporción de ésta que se puede cosechar y de los

requerimientos del animal considerado, a través del consumo individual.

Dado que la PPNA y el índice de cosecha no son independientes, es necesario entender la relación entre ambas variables. Existen evidencias que indican que en el espacio, es decir entre sitios, el índice de cosecha está relacionado positivamente con el nivel de PPNA (Golluscio et al, 1998; Golluscio, 2009). Sin embargo, la relación entre el índice de cosecha y la PPNA no es lineal (Ecuación 4; Golluscio et al, 1998). A medida que aumenta la PPNA la tasa de incremento en el índice de cosecha decrece.

$$\text{IC} = -5,51 + 0,7154 \times (\text{PPNA}^{0,5}) \quad (4)$$

Por otro lado es importante resaltar que hasta el momento no se cuentan con modelos similares al de la ecuación (4) para situaciones donde se observen variaciones en el tiempo, es decir para un mismo ambiente entre años, o diferentes estaciones dentro del mismo año.

Finalmente, al reemplazar en la ecuación (3) IC por la ecuación (4) se puede observar que la capacidad de carga es función de la PPNA por dos vías distintas (ecuación 5). Primero en forma directa; y luego en forma indirecta, mediado por el índice de cosecha (ecuación 5).

$$\text{Capacidad de Carga} = [\text{PPNA} \times (-5,51 + 0,7154 \times (\text{PPNA}^{0,5}))] / \text{CI} \quad (5)$$

Por lo tanto, conocer la variación en el espacio y en el tiempo de la PPNA resulta fundamental para la determinación de la capacidad de carga (Golluscio, 2009). En el espacio, es necesario contar con una descripción adecuada de la heterogeneidad ambiental. Es decir, es necesario saber cuántos recursos

forrajeros diferentes existen, cuál es su ubicación dentro de las unidades de manejo (potreros) y qué superficie representan. En el tiempo, es necesario contar con una descripción detallada de las variaciones entre años, y entre estaciones dentro de un año. El desarrollo de este conocimiento es la base para realizar un manejo ganadero por ambientes.

Contar con estimaciones detalladas en el espacio y en el tiempo de la PPNA ha sido dificultoso en general (Sala y Austin, 2000; Scurlock et al, 2002) y en la Pampa Deprimida en particular. Recientemente, Aragon y Oesterheld (2008) han descripto la ubicación de diferentes comunidades vegetales en el paisaje y ciertos aspectos relacionados con la PPNA para un área de la Pampa Deprimida; sin embargo, esta información no está disponible para su conjunto. En relación al lapso temporal, son limitadas las estimaciones estacionales de la PPNA a partir de cortes de biomasa, en todos los casos (Sala et al, 1981; Cahuepe y Hidalgo, 1991; Oesterheld y León, 1987) el intervalo de tiempo analizado no supera los dos años. El uso de información satelital ha permitido cuantificar algunos aspectos de la variación temporal de la PPNA. En particular, Posse et al (2005) y Aragon y Oesterheld (2008) cuantificaron la variación interanual de un estimador de la PPNA, el índice espectral denominado índice verde normalizado (IVN).

La ausencia de estimaciones de la PPNA tiene consecuencias directas en la estimación de la capacidad de carga que se manifiestan en el corto plazo en momentos de escasez y sobreabundancia de forraje (Golluscio, 2009). Frente a esta incertidumbre, los productores optan por una estrategia conservadora minimizando el riesgo. En muchos casos esta estrategia se ha desarrollado por prueba y error. Esto significa que han modificado la carga y evaluado el resultado productivo. Luego de una serie de años, y con la acumulación de experiencias personales, han fijado la carga en un valor, en muchos casos, alejado de la capacidad de carga promedio. Como resultado en el largo plazo y específicamente para

los pastizales de la Pampa Deprimida, esta falta de ajuste ha conducido a cambios en la proporción de los tipos funcionales de vegetación (Soriano et al, 1991; Rusch y Oesterheld, 1997) así como representó una pérdida en los contenidos de nitrógeno y carbono del suelo (Piñeiro et al, 2006).

A partir de la implementación de un sistema de seguimiento de la PPNA en diversas áreas de pastizales de la Argentina (Grigera et al, 2007b), es posible contar con estimaciones de la PPNA desde el año 2000 hasta la actualidad, en unidades de 5,3 ha (tamaño mínimo de cada celda de la imagen satelital o píxel). Esta información ha sido utilizada para caracterizar la variabilidad entre años y la dinámica mensual de la PPNA de dos tipos de recursos forrajeros en la depresión de Laprida (Grigera et al, 2007a).

Sin embargo y hasta donde tenemos conocimiento, aun existen algunos vacíos de conocimiento en relación a las variaciones en la PPNA y su impacto en la capacidad de carga en los pastizales de la Pampa Deprimida. El objetivo de este trabajo es caracterizar la heterogeneidad espacial y la variación temporal de la PPNA y de la capacidad de carga en un establecimiento ganadero representativo de la principal actividad productiva de la Pampa Deprimida (i.e. cría) mediante información satelital. Para alcanzar este objetivo general, el trabajo se organizó en tres secciones. En primer lugar, se hizo una clasificación funcional de la vegetación donde se identificaron 4 unidades funcionales. En segundo lugar, se describió la distribución espacial de dichas unidades y se evaluó su relación con la cartografía de suelos. En tercer y último lugar, se cuantificó la magnitud del cambio en la PPNA y por ende en la capacidad de carga, en cada una de las unidades, ante años climáticos contrastantes. Este tipo de aproximación les permitiría a productores contar con información objetiva de la distribución espacial de sus recursos forrajeros, y conocer la respuesta temporal basada en una serie de tiempo relativamente larga.

## Materiales y Métodos

### Sitio de estudio

El estudio se realizó en un establecimiento agropecuario ubicado geográficamente en el límite entre los partidos de Ayacucho y Rauch en el centro de la Pampa Deprimida. Los pastizales de esta zona se caracterizan por la falta generalizada de una red de drenaje definida y que, asociada al tipo de clima templado húmedo, generan períodos estacionales de inundación (Soriano et al, 1991). Como consecuencia de este patrón, el 60% de la región está compuesta por áreas hidro-haló-mórficas, en donde el grado de sodicidad se relaciona fuertemente con la dinámica de la napa freática (Soriano et al, 1991). La vegetación presenta un arreglo espacial complejo en mosaicos de comunidades herbáceas, resumido en cuatro tipos fisonómicos dominantes (Burkart et al, 1990; Perelman et al, 2001; Aragon y Oosterheld, 2008). Estas comunidades se denominan: pradera de mesófitas (A), pradera húmeda de mesófitas (B), pradera de higrófitas (C) y estepa de halófitas (D) [la nomenclatura entre paréntesis sigue la sugerida por Burkart et al (1998)]. Estas comunidades se encuentran dominadas por especies de pastos y hierbas. La cobertura por parte de especies  $C_4$  es máxima en la estepa de halófitas y mínima en la pradera húmeda de mesófitas (Chaneton et al, 2005).

El área analizada corresponde a un establecimiento de 1000 ha destinadas principalmente a la cría de ganado vacuno. En el período 2000-2006 más del 90% de la superficie del establecimiento ha estado ocupada por pastizales. En el año 2000 ésta era del 99% pasando a ser del 93% en el 2006.

### Análisis de datos

Para caracterizar los diferentes ambientes de pastizal y describir su dinámica estacional de la productividad primaria neta aérea (PPNA) se utilizó el sistema de seguimiento forrajero (Grigera et al, 2007 a y b). El sistema parte de la lógica del modelo eco fisiológico propuesto por Monteith (1977) que indica que la PPNA se obtiene del triple producto de tres

componentes:  $PPNA = \epsilon_a \times [fRFAI \times fRFAA]$  en donde,  $\epsilon_a$  representa el coeficiente de conversión de radiación absorbida en biomasa aérea expresado en gramos de biomasa seca por megajoule de radiación absorbida, RFAI representa la radiación fotosintéticamente activa incidente ( $MJ\ m^{-2}\ día^{-1}$ ) y fRFAA es la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la cobertura vegetal. Los valores de RFAI se obtienen de estaciones meteorológicas locales y mediante información satelital se estima la fRFAA (ver detalles en Piñeiro et al, 2006b). Finalmente, y para este estudio se utilizó un valor de  $\epsilon_a$  de  $0,48\ g\ MS \times MJ^{-1}$  estimado en un estudio sobre los pastizales de la Pampa Deprimida (Piñeiro et al, 2006b).

A partir de la digitalización del establecimiento se ubicaron los píxeles utilizados por el sistema de seguimiento forrajero. El establecimiento quedó dividido en una grilla de 201 píxeles de 5,3 ha cada uno. Se descartaron del análisis aquellos píxeles que se encontraban sobre lagunas, sobre el casco del establecimiento, abarcando una proporción mayor al 25% en campos vecinos, o sobre lotes que durante el período evaluado fueron destinados a agricultura. De esta selección, quedó el 82% de la superficie del establecimiento. La extracción de los valores dados por el seguimiento forrajero abarcó el período abril de 2000 hasta diciembre de 2006. A partir de esta información se calculó el valor promedio mensual de PPNA por píxel, y se obtuvo una matriz de 155 píxeles por 68 meses.

Con la matriz descrita anteriormente se realizó una clasificación no supervisada utilizando el algoritmo de Wards y la medida de distancia euclídea. Se determinó un número de 4 clases que llamaremos Unidades Funcionales, en relación a las cuatro comunidades más representativas de los pastizales de la Pampa Deprimida anteriormente mencionadas (sensu Burkart et al, 1994; Perelman et al, 2001). Con el resultado de esta clasificación se realizaron tres análisis descriptivos. En primer lugar, se caracterizó la dinámica mensual promedio de la PPNA, la variación entre

años a través del coeficiente de variación interanual y la dinámica mensual de la variación entre años. En segundo lugar, se cuantificó la importancia relativa de cada unidad dentro del establecimiento y se describió su relación con la capacidad de uso del suelo (INTA 1981). Por último, se caracterizó el cambio en la PPNA y en la capacidad de carga ante años contrastantes de precipitación. Se seleccionaron los años con los valores mínimo y máximo de precipitaciones, 2004 y 2002 respectivamente, dentro del período analizado. A partir de los valores anuales de PPNA, y para cada una de las cuatro unidades, se estimó la capacidad de carga. Para ello, se utilizó el modelo propuesto en la sección introducción de este trabajo (ecuación 5).

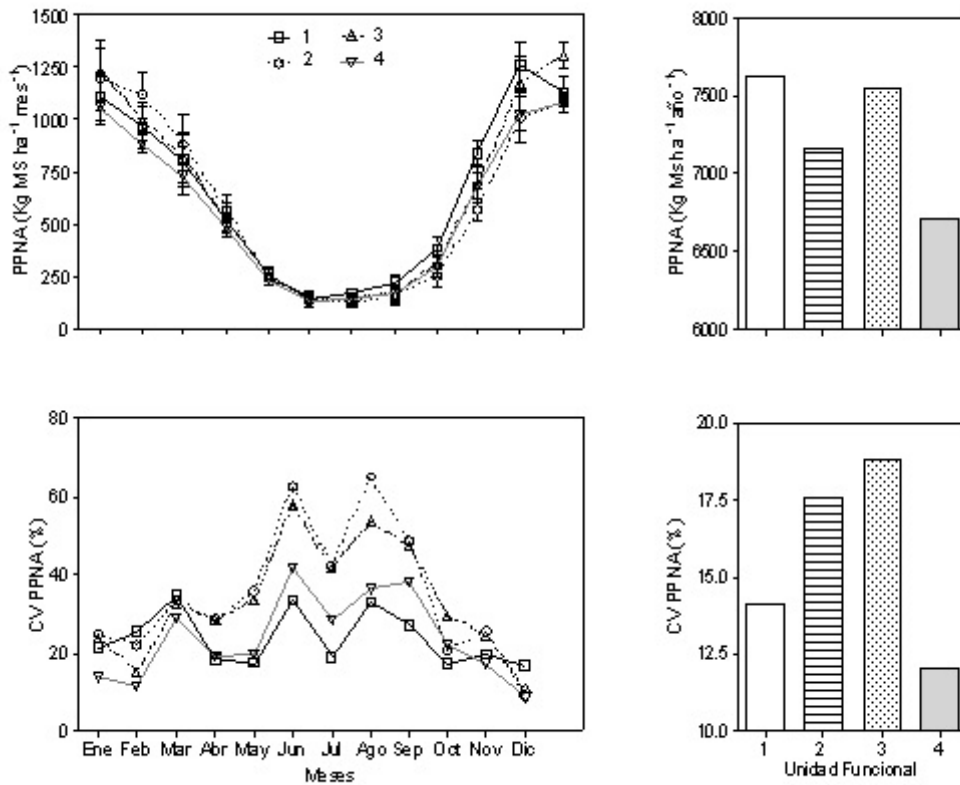
### Resultados

La dinámica estacional de las cuatro unidades presentó un patrón general similar, aunque existieron diferencias que repercutieron en el valor anual de PPNA (Figura 1). La unidad funcional 1 alcanzó el valor máximo en noviembre, mientras que las otras tres lo hicieron en diciembre (Figura 1). La magnitud del valor máximo mensual varió entre las unidades funcionales en  $300 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$  (Figura 1). El valor mínimo ocurrió en el mes de junio en todas las unidades funcionales, y fue muy similar en magnitud (i.e.  $200 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ ). La unidad funcional 1 presentó los mayores valores de PPNA en el período comprendido entre los meses de agosto y diciembre, mientras que la unidad funcional 2 presentó los mayores valores entre los meses de enero y abril (Figura 1). El valor más alto de PPNA anual,  $7600 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  correspondió a la unidad funcional 1, mientras que la unidad funcional 4 presentó el mínimo valor anual,  $6700 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Figura 1).

La dinámica mensual del coeficiente de variación (CV) presentó variaciones contrastantes entre las unidades funcionales (Figura 1). El valor máximo del CV se registró en el invierno, entre los meses de junio y agosto, momento en el que la PPNA es mínima (Figura 1). En cambio, los momentos de ocurrencia de los valores mínimos difirieron entre unidades funcionales. En las unidades funcionales 2, 3 y 4, el valor mínimo del CV se registró en primavera, en el mes de diciembre; momento en el que se registró el máximo valor promedio de PPNA mensual. En cambio, en la unidad funcional 1 se observó el valor mínimo de CV en otoño, en el mes de mayo, mientras que el valor máximo de PPNA se observó en noviembre. El coeficiente de variación interanual no presentó una clara asociación con la PPNA anual (Figura 1). Por ejemplo, las unidades funcionales 1 y 3 presentaron un valor de PPNA anual similar, sin embargo poseen un CV contrastante (Figura 1). Por otro lado, la unidad funcional 4 presentó el menor valor de PPNA anual y CV (Figura 1).

La clasificación por unidades funcionales permitió estimar la proporción que representa cada unidad dentro del establecimiento. Las unidades funcionales 2, 3 y 4 ocuparon el 24%, 23% y 38% del área total del campo respectivamente. Dichas unidades estuvieron fuertemente asociadas a las unidades cartográficas con clase de uso VI ws (Figura 2). En cambio, la unidad funcional 1, que ocupó el 14% del área del establecimiento, se ubicó principalmente en zonas con clase de uso III ws (Figura 2).

La plasticidad de cada una de las unidades funcionales, es decir la capacidad de respuesta ante años extremos de precipitación, fue diferente (Figura 3). Por ejemplo, una disminución del 25% en la precipitación, redujo la PPNA entre un 19% y 27% según la unidad

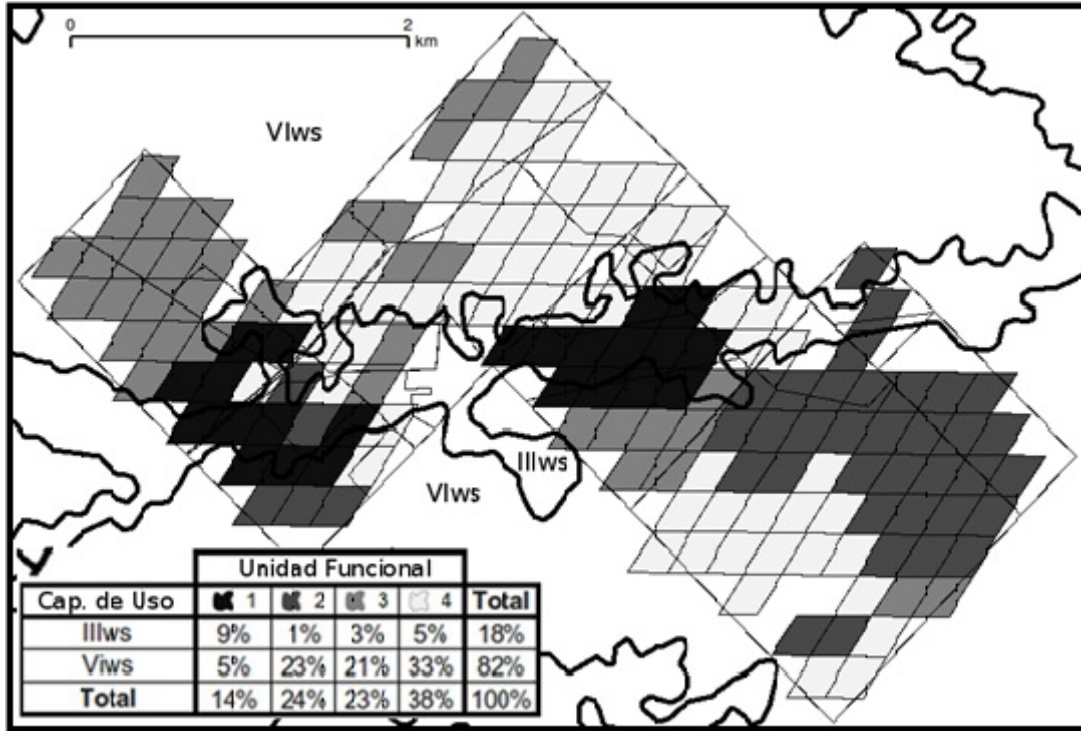


**Figura 1:** (panel superior) Dinámica estacional de la productividad primaria neta aérea (kg de materia seca por hectárea por mes) promedio de seis años (2000-2006), y valor anual de la PPNA en cada una de las cuatro unidades funcionales definidas. (panel inferior) Dinámica estacional del coeficiente de variación (%) para las cuatro unidades funcionales, valor del coeficiente de variación inter anual de la PPNA.

**Figure 1:** (Upper panel) ANPP seasonal dynamics (kg DM ha<sup>-1</sup> month<sup>-1</sup>) average of six years (2000-2006), and the annual ANPP of the four functionally units. (Lower panel) interannual coefficient of variation for the ANPP seasonal dynamics and its annual value of the four functionally units. Each symbol represents a functional unit.

funcional considerada; y significó una reducción en la capacidad de carga entre un 28% y 39% (Figura 3). En cambio, un incremento del 50% en la precipitación resultó en un incremento de la PPNA entre un 15% y 23%, y en la capacidad de carga entre un 23% y 38% (Figura 3). Las diferencias en el cambio entre

la PPNA y la capacidad de carga, responden a que el modelo utilizado para estimar la capacidad de carga contempla una relación no lineal entre el índice de cosecha y la PPNA. Esta no linealidad tuvo un mayor impacto en las variaciones en la capacidad de carga ante variaciones en la precipitación que en la PPNA.



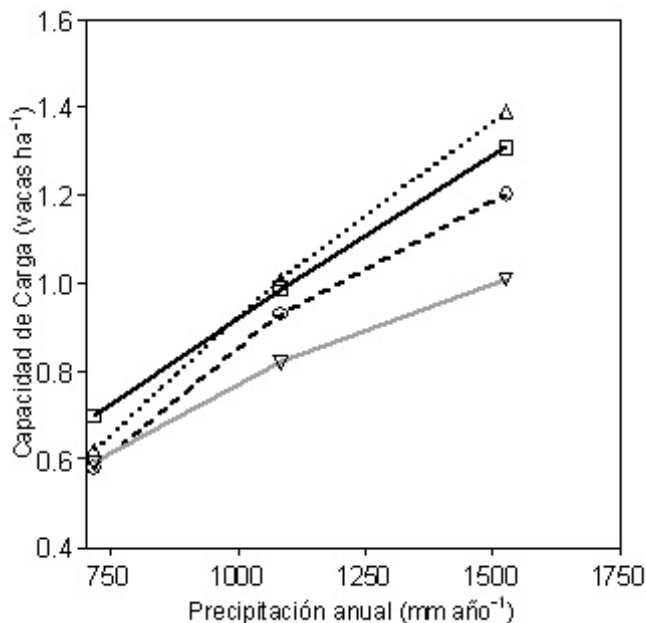
**Figura 2:** Ubicación espacial de las unidades funcionales obtenidas de la clasificación y de las clases de capacidad de uso dentro del área de estudio. La tabla indica el porcentaje de cada una de las unidades funcionales representadas en las dos clases de uso del suelo presentes dentro del establecimiento.

**Figure 2:** Spatial arrangement of the functional units within the analyzed area (ranch) and its correspondence with the soils use capacity. The table shows the relative abundance of each soils use capacity class within each one of the four functional units.

### Discusión

El desarrollo de un manejo ganadero por ambientes es posible a partir del uso de dos tipos de herramientas, la información provista por el sistema de seguimiento forrajero y el análisis de esa información mediante estadística multivariada. A su vez, este trabajo demuestra la utilidad de contar con descripciones para la Pampa Deprimida de la variabilidad en la PPNA, ya sea entre años e inclusive para diferentes momentos entre años, ya que permite caracterizaciones en la respuesta de la capacidad de carga ante años climáticos contrastantes.

El patrón observado en la dinámica estacional y en el valor anual de la PPNA presentó similitudes con el observado en trabajos anteriores (Sala et al, 1981; Oosterheld y León, 1987). Sala et al (1981) describieron la dinámica estacional de la PPNA en un área de pastizal en la Pampa Deprimida dominado por pradera húmeda de mesófitas y registraron un valor de PPNA de 5320 kg de MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. Ese valor es un 27% inferior respecto al promedio observado en este trabajo para un año normal y solo un 5% inferior respecto a un año seco. Por otra parte, Oosterheld y León (1987) observaron en pasturas de diferente edad, en



**Figura 3:** Respuesta en la capacidad de carga ante años contrastantes de precipitación anual, en cada una de las cuatro unidades funcionales descriptas. Para el cálculo de la capacidad de carga se utilizó la ecuación genérica: Capacidad de Carga = (PPNA x IC) / CI. El Consumo Individual, CI, se estimó como el 3% del peso vivo, en un animal de 400 kg de peso vivo, esto representa 12 kg MS.día<sup>-1</sup>. El índice de cosecha, IC, se calculó a partir de la ecuación propuesta por Golluscio et al (1998):  $IC = -5.51 + 0.7154 \times (PPNA^{0.5})$ .

**Figure 3:** Carrying capacity response to variation in annual precipitation for each functional unit. Carrying capacity (CC) was estimated as:  $CC = (ANPP \times HI) / Consumption$ ; where HI stands for harvest index, the proportion of ANPP that is sustainable to be consumed, and consumption represents the individual intake that in this case was estimated as the 3% of a 400 kg body weight cow. Harvest index was estimated through the equation proposed by Golluscio et al (1998)  $HI = -5.51 + 0.7154 \times (ANPP^{0.5})$ .

el norte de la Pampa Deprimida, valores anuales de PPNA de 7300 a 8760 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Estos valores son similares o levemente superiores a los observados para un año promedio en este trabajo, y superiores respecto aun año seco. Esta similitud radica en que los valores de  $\epsilon_a$  informados por Piñeiro et al (2006b) fueron obtenidos a partir de los valores de PPNA reportados por Oesterheld y Leon (1987). En relación a las diferencias con el valor de Sala et al (1981) lamentablemente, no reportan en el trabajo el año en que se realizó el estudio. Sin embargo, el año 1979,

dos años antes de la publicación del estudio, las precipitaciones para la localidad de Dolores, provincia de Buenos Aires, fueron de 563 mm, las más bajas en el periodo 1970-2008 (elaboración propia a partir de información del Servicio Meteorológico Nacional).

La dinámica estacional de la PPNA de las cuatro unidades funcionales presentó cierta correspondencia con patrones anteriormente observados (Aragon y Oesterheld 2008); y a su vez estuvo asociada a las características de los suelos. Por ejemplo, las unidades más contrastantes en PPNA anual, las unidades 1



y 4, podrían interpretarse como comunidades de praderas de mesófitas y estepas de halófitas respectivamente. La unidad funcional 1 con altos valores en primavera y el máximo valor anual de PPNA presentó una dinámica similar a la pradera de mesófitas, comunidad A, y estuvo asociada a suelos de capacidad de uso IIIws. Los bajos valores de PPNA anual observados en la unidad funcional 4, podrían interpretarse como áreas dominadas por estepas de halófitas, ya que éstas presentan el menor valor de IVN (Aragon y Oesterheld, 2008) y por ende de PPNA. Las unidades funcionales 2 y 3, fuertemente asociadas con suelos de capacidad de uso VIws, probablemente representen diferentes combinaciones de praderas de higrófitas y estepa de halófitas. El uso de información satelital brinda información adicional a la otorgada por la cartografía de suelos. Las unidades funcionales presentaron una clara correspondencia con la capacidad de uso de los suelos, pero brindaron información más detallada, ya que se encontraron unidades funcionales diferentes dentro de una misma clase de uso.

El valor mensual medio del coeficiente de variación del IVN, estimador de la PPNA, en la Pampa Deprimida es de 25% (Oesterheld et al, 1998). En este estudio, el coeficiente de variación de la PPNA fue muy similar: 29%. Por otro lado, el coeficiente de variación interanual del IVN para las diferentes comunidades vegetales no supera el 15% (Aragon y Oesterheld, 2008). En este estudio el coeficiente de variación interanual de la PPNA alcanzó un valor levemente superior, 19%.

El valor promedio de carga para la Pampa Deprimida es de 0,62 +/- 0,03 vacas.ha<sup>-1</sup> (adaptado de Oesterheld et al, 1998; considerando un valor de 400 kg de peso vivo por vaca). A su vez, en un establecimiento en el norte de la Pampa Deprimida se estimó una capacidad de carga entre 0,6 y 0,8 vacas ha<sup>-1</sup>, donde el máximo valor estimado se asoció a las zonas de mayor PPNA (Vecchio et al, 2008). Los valores de capacidad de carga estimada en este trabajo para un año climático malo coincide con el valor promedio de carga para la zona (Oesterheld et al, 1998) y con el

mínimo estimado para el establecimiento anteriormente mencionado (Vecchio et al, 2008). Estas evidencias sugieren que la carga estaría determinada por el valor de PPNA correspondiente a años climáticos malos. Indicando que los productores, como se planteó en la introducción de este trabajo, buscarían minimizar el riesgo climático ante la incapacidad de articular cambios en la carga de sus campos. Posiblemente esta limitante radica en dos puntos. Por un lado, restricciones propias del sistema de producción y por otro lado por desconocer la dinámica temporal de la PPNA.

### Conclusiones

La carga es la variable de manejo de mayor impacto sobre la producción animal por hectárea en sistemas ganaderos extensivos (Walker, 1995). La capacidad para definir la carga adecuada depende de dos aspectos relacionados. Por un lado, está determinada por la capacidad de carga, fuertemente condicionada por la PPNA, y por otro lado por el nivel de riesgo que está dispuesto a asumir un productor. Aumentos en la carga se asocian con incrementos en el riesgo que depende fuertemente de conocer la variabilidad espacial y temporal de la PPNA. En este trabajo, el uso de información satelital permitió cuantificar un aspecto fundamental para conocer el riesgo en el que podríamos incurrir de acuerdo a la carga que decidamos establecer. En particular, permitió cuantificar el cambio relativo en la PPNA, y en la capacidad de carga, ante años contrastantes de precipitación.

### Agradecimientos

Agradecemos al Ing. Agr. Martín Balduzzi por concedernos el permiso para utilizar su establecimiento con fines de estudio, y a la Ing. Agr. Dolores Arocena (LART, IFEVA, FAUBA-CONICET) por la información brindada y por su colaboración. Finalmente, agradecemos al profesor Rodolfo Golluscio por sus comentarios durante las etapas preliminares del manuscrito.

**Bibliografía**

- Aragón, R. y Oesterheld, M. 2008. Linking vegetation heterogeneity and functional attributes of temperate grasslands through remote sensing. *Applied Vegetation Science* 11: 115-128.
- Burkart, S.E., León, R.J.C. y Movia, C.P. 1990. Inventario fitosociológico del pastizal de la depresión del Salado (Prov. Bs. As.) en un área representativa de sus principales ambientes. *Drawiniana* 30: 27-69.
- Cahuépe, M. e Hidalgo, L. 1991. Especies forrajeras naturales de la Depresión del Salado. *Revista del Consorcio Regional de Experimentación Agrícola* 149: 1-19.
- Chaneton, E.J., Perelman S. and León, R.J.C. 2005. Floristic heterogeneity of Flooding Pampa grasslands: a multi-scale analysis. *Plant Biosystems* 139: 245-254.
- Golluscio, R.A., Deregibus, V.A. and Paruelo, J.M. 1998. Sustainability and range management in the Patagonian steppes. *Ecología Austral* 8: 265-284.
- Golluscio, R.A. 2009. Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas. *Ecología Austral* 19(3): 215-232.
- Grigera, G., Oesterheld, M. and Pacín, F. 2007a. Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems* 94: 637-648.
- Grigera, G., Oesterheld, M., Durante, M. y Pacín, F. 2007b. Evaluación y seguimiento de la productividad forrajera. *Revista Argentina de Producción Animal* 27(2): 137-148.
- INTA. 1981. Carta de suelos de la república Argentina. INTA, escala 1:50.000. Hojas 3760 18-1 y 18-2.
- León, R.J.C., Rusch, G.M. y Oesterheld, M. 1984. Pastizales pampeanos impacto agropecuario. *Phytocoenología* 12: 201-218.
- McLeod, S.R. 1997. Is the concept of carrying capacity useful in variable environments? *Oikos* 79: 529-542.
- Monteith, J.L. 1977. Climate and crop efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 281: 277-329.
- Oesterheld, M. y León, R.J.C. 1987. El envejecimiento de las pasturas implantadas: su efecto sobre la Productividad Primaria. *Turrialba* 37: 29-35.
- Oesterheld, M., Di Bella, C.M. and Kerdules, H. 1998. Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate of rangelands. *Ecological Applications* 8: 207-212.
- Perelman, S.B., León, R.J.C. and Oesterheld, M. 2001. Cross-scale vegetation patterns of 12 Flooding Pampa grasslands. *Journal of Ecology* 89: 562-577.
- Piñeiro, G., Paruelo, J.M. and Oesterheld, M. 2006a. Potential long-term impacts of livestock introduction on carbon and nitrogen cycling in grasslands of Southern South America. *Global Change Biology* 12: 1267-1284.
- Posse, G.D., Oesterheld, M. and Di Bella, C.M. 2005. Landscape, soil and meteorological influences on canopy dynamics of northern flooding Pampa grasslands, Argentina. *Applied Vegetation Science* 8:49-56.
- Rusch, G.M. and Oesterheld, M. 1997. Relationship between productivity, and species and functional group diversity in grazed and non-grazed Pampas grassland. *Oikos* 78: 519-526.
- Sala, O.E., Deregibus, V.A., Schlichter, T. and Alippe, H. 1981. Productivity Dynamics of a Native Temperate grassland in Argentina. *Journal of Range Management* 34: 48-51.
- Sala, O.E. and Austin, A.T. 2000. Methods of estimating Aboveground Primary Production. Pp. 386. *In: Sala, O.E., Jackson, R.B., Mooney, H.A. y Howarth, R.W. (eds). Methods in ecosystem science.* Springer, New York.
- Scurlock, J.M.O., Johnson, K. and Olson, R.J. 2002. Estimating net primary productivity from grasslands biomass dynamics measurements. *Global Change Biology* 8: 736-753.
- Soriano, A. 1991. Río de la Plata grasslands. Pp. 367-407. *In: Coupland, R. (ed). Natural Grasslands introduction and western hemisphere.* Elsevier, Amsterdam.
- Vecchio, M.C., Golluscio, R.A. y Cordero, M.I. 2008. Cálculo de la receptividad ganadera a escala de potrero en pastizales de la Pampa Deprimida. *Ecología Austral* 18: 213-222.
- Walker, J. 1995. Viewpoint: grazing management and research now and in the next millennium. *Journal of Range Management* 48: 350-357.