



Facultad de Agronomía  
Universidad de  
Buenos Aires

---

TRABAJO CORRESPONDIENTE AL CICLO DE INTENSIFICACIÓN PARA  
ACCEDER AL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

CONTROLES CLIMÁTICOS DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DE  
PASTIZALES DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES.

**Intensificando:** Luis María Arias Usandivaras

**Director:** Ing. Agr. Ms. Sc. Martín Garbulsky

**Codirector:** Ing. Agr. Ms. Sc. Patricia Cornaglia

**Consultor:** Ing. Agr. Ms. Sc. Dr. Rodolfo Golluscio

**Fecha de entrega:** 30 de Octubre de 2006

Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Agronomía  
2006

## INDICE

	Páginas
<b>AGRADECIMIENTOS</b> _____	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b> _____	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> _____	<b>6</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> _____	<b>14</b>
<b>RESULTADOS</b> _____	<b>17</b>
<b>DISCUSIÓN</b> _____	<b>36</b>
<b>CONCLUSIONES</b> _____	<b>46</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> _____	<b>48</b>

## **AGRADECIMIENTOS**

A Rafael Pizzio y todo el equipo de Recursos Forrajeros del INTA Mercedes, porque gracias a ellos existe esta información sobre productividad tan valiosa, confirmando el papel fundamental que cumplen en la generación y transferencia de tecnología.

A mi director Martín Garbulsky por su disposición para las correcciones y por sus valiosas sugerencias y aportes al trabajo.

A Rodolfo Golluscio y Patricia Cornaglia por el tiempo prestado para realizar las correcciones y a todos los integrantes de la Cátedra de Forrajicultura por darme un ámbito de trabajo apropiado.

A mi familia y amigos, por recorrer juntos este camino.

Especialmente a mis padres, por su apoyo incondicional, por ser mi sostén, y porque nada de esto sería posible sin ellos.

A la Universidad de Buenos Aires y a todos los profesores que contribuyeron en mi formación profesional, más allá de sus deberes.

## RESUMEN

La dinámica de la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) de los pastizales determina aspectos importantes del manejo ganadero y está controlada por variables climáticas. Las precipitaciones limitan el crecimiento y la temperatura lo promueve en forma directa, pero lo inhibe en forma indirecta al aumentar el déficit hídrico del suelo. La ganadería en la provincia de Corrientes se basa principalmente en la utilización de los pastizales naturales. Sin embargo, no se han analizado hasta el momento cuales son los controles de la PPNA de estos pastizales. En este trabajo se analizó la correspondencia entre las variables climáticas y la productividad de los tres pastizales dominantes en la zona central de la provincia: pastizal de pastos cortos (PCO), flechillar (FLE) y pajonal (PAJ). El análisis se basó en una serie de 15 años de datos de PPNA y en variables climáticas. La PPNA promedio fue de 5906, 5182, 2775 kg MS/ha/año para PAJ, PCO y FLE y sus eficiencias en el uso de las precipitaciones promedio ( $EUP = PPNA / \text{precipitaciones anuales}$ ) de 3.5, 3.9 y 1.9 kg MS/ mm respectivamente. La estacionalidad de los tres pastizales se corresponde linealmente con la temperatura hasta los 23 °C, pero esta respuesta varía entre años. En los meses más cálidos la productividad depende de las precipitaciones actuales, y en PCO la suma de las actuales más las del mes anterior mejoran el ajuste de la relación. La variabilidad interanual está determinada mayormente por las precipitaciones estivales, ya que influyen sobre los meses productivamente más variables. Sin embargo en PAJ las precipitaciones estivales del año anterior influyen en la PPNA actual, probablemente por su mayor susceptibilidad al sobrepastoreo. Este estudio

permite mejorar los conocimientos sobre el sistema y evaluar posibles consecuencias de cambios climáticos sobre la PPNA de los pastizales.

**Palabras clave:** pastizales subtropicales húmedos – PPNA - EUP – variables climáticas - variabilidad temporal - Provincia de Corrientes

## INTRODUCCIÓN

La Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) de los pastizales es la tasa de formación de biomasa aérea de la comunidad vegetal por unidad de superficie. Conocer la PPNA anual es importante en los sistemas ganaderos pastoriles ya que es un elemento determinante de la biomasa de herbívoros domésticos, y por lo tanto de la carga animal, a través de un amplio gradiente de productividad (Oosterheld et al., 1992). La PPNA de un sitio representa la energía disponible para los siguientes niveles de la cadena trófica (Mc Naughton et al., 1989).

La receptividad, definida como las unidades animales que soporta un área para pastoreo sin que se deterioren el suelo y el recurso forrajero (Scarnecchia 1990), de recursos de similar PPNA depende a su vez de la calidad del forraje consumido y de las variaciones estacionales e interanuales de la PPNA. A mayor estacionalidad de la PPNA, resulta más difícil el acople con los requerimientos de los animales que la pastorean. Esto ocurre porque los requerimientos del rodeo suelen ser más constantes que la PPNA y porque la carga a nivel establecimiento no se puede modificar en la misma proporción y escala de tiempo. Por otro lado la biomasa no consumida senesce en un lapso variable luego de ocurrido su crecimiento (Parsons et al., 1983; Chapman et al., 1984) lo que hace difícil transferir el material verde en pie entre estaciones. Lo mismo ocurre con los cambios interanuales de la PPNA, donde no siempre es posible ajustar la carga con la disponibilidad de forraje, ya sea por cuestiones técnicas o porque no se predijo la situación.

El conocimiento de los controles de la PPNA, que determinan la magnitud y dirección de los cambios temporales, puede ayudar en los procesos de toma de decisiones de manejo y determinar los resultados de los sistemas ganaderos. Las variables climáticas constituyen el principal control de la productividad primaria. La ocurrencia de condiciones climáticas adversas afecta la maximización de la energía solar captada (Briske y Heischmidt, 1993), ya que agua y temperatura, al igual que algunos nutrientes frecuentemente limitan el desarrollo de un canopeo suficiente para interceptar la radiación fotosintéticamente activa disponible (Lewis, 1969 y Begon et al., 1986 citados por Briske y Heischmidt, 1993).

Las precipitaciones constituyen un determinante fundamental de diferentes aspectos estructurales de la vegetación (desde cobertura del canopeo y densidad de plantas hasta la composición de especies) a través de un largo gradiente espacial de precipitaciones (Lauenroth y Sala, 1992). La variabilidad interanual de las precipitaciones también influye en la PPNA, aunque estas variaciones temporales son menos importantes que las diferencias entre sitios (Lauenroth y Sala, 1992). A su vez la temperatura determina la composición de la comunidad herbácea a través de largos gradientes espaciales: la proporción  $C_3/C_4$  decrece con el aumento de la temperatura media y las especies dominantes varían dependiendo de las temperaturas y precipitaciones de la región (Humphreys, 1978). Asimismo a escala regional se ha observado una interacción entre temperatura y precipitaciones: en determinados rangos de precipitaciones la PPNA declina linealmente al aumentar la temperatura media anual como consecuencia del aumento de la evaporación del suelo (Epstein et al., 1997).

La temperatura incrementa directamente la tasa de crecimiento de los pastizales pero puede reducirla indirectamente al disminuir el contenido de agua útil del suelo. La temperatura óptima de crecimiento, aquella a la cuál se obtienen las mayores tasas, está determinada por la composición de especies, pudiendo agruparse por grupos funcionales en especies  $C_4$ , con un óptimo a mayores temperaturas, y en especies  $C_3$  con una temperatura óptima inferior. En regiones tropicales, donde predominan las especies  $C_4$ , y en suelos con suficiente agua, el crecimiento de los pastizales aumenta linealmente hasta los 32 °C de temperatura (Primavesi, 1999).

Los estudios a escala global analizan principalmente la variabilidad espacial de la PPNA, y en menor medida la variabilidad temporal, tanto entre años como entre estaciones. Estudios previos relacionaron la precipitación y la productividad anuales para varias zonas áridas del mundo y se encontró una eficiencia en el uso de las precipitaciones (EUP) (cociente entre la PPNA y la lluvia anual) promedio de 4 kg MS /mm (Le Houérou et al., 1988). La variación interanual en la PPNA resultó un 50% mayor que en las precipitaciones anuales. Luego formularon una ecuación matemática empírica para predecir la PPNA anual de un sitio dado, a partir de cierta probabilidad de ocurrencia de precipitaciones. La EUP disminuye, a través de los biomas a medida que aumentan las precipitaciones medias anuales y durante los años más secos la eficiencia en el uso de la precipitación de los diferentes sitios se acerca a una EUP máxima común entre sitios (Huxman et al., 2004).

En un estudio de los pastizales de la región central de EE.UU., se consideraron las diferencias entre sitios, introduciendo a la capacidad de retención hídrica del suelo y a las precipitaciones medias anuales como variables (Sala et al., 1988). Donde las precipitaciones son menores a 370 mm/ año los suelos con textura arenosa son más productivos que los suelos con textura arcillosa, mientras que ocurre lo contrario con los sitios con más de 370 mm/ año.

La disponibilidad de agua es el principal factor que controla diferentes aspectos de la PPNA en zonas áridas y semiáridas, independientemente de la escala espacial. La PPNA anual de los arbustos en las estepas de la Patagonia se encuentra controlada por las precipitaciones, mientras que la PPNA del pastizal de invierno, primavera y verano está determinada por las precipitaciones de la estación anterior (Jobbágy y Sala, 2000). En Alberta, Canadá la PPNA anual de una pradera de pastos mixtos fue explicada en un 54% por las precipitaciones del mismo año, y la precipitación del Septiembre previo más las precipitaciones del periodo Abril-Julio actuales incrementaron levemente la relación al 59 % (Smoliak, 1986). En pastizales de Oregón, EEUU se observó que la PPNA anual de un pastizal puede ser explicada por un modelo que incluye la temperatura y las precipitaciones del mismo período (Sneva, 1977). No sólo las precipitaciones actuales influyen en la productividad del período: diferentes autores muestran que las precipitaciones de años anteriores influyen en la PPNA a través de cambios en la vegetación (principalmente en la cobertura basal). Esto significa que si hay alternancia de años secos con húmedos, esta característica actuaría como buffer,

disminuyendo las diferencias entre años, o en el caso contrario acentuaría los efectos de las precipitaciones (Oosterheld et al., 2001; Wiegand et al., 2004).

En regiones húmedas la PPNA también se ve influenciada por los factores climáticos. En un pastizal anual de California, EEUU, con 900 mm de precipitación anual, la PPNA se asocia con las precipitaciones anuales, las que tienen un efecto directo sobre el rendimiento del pastizal, y otro indirecto a través de el momento en que se produce la germinación de las especies anuales (Murphy, 1970). En Irlanda se aplicó un modelo de regresión lineal para estimar el rendimiento estacional de una pastura (Han, 2000 citado por Han et al., 2003). Se encontró que cuando la disponibilidad de agua no era limitante, la temperatura media, la radiación acumulada y los días desde el corte podían describir satisfactoriamente las tasas de crecimiento. Pero en la situación opuesta, estas variables y aún las precipitaciones, no servían para describir el crecimiento de dicho pastizal. Así en un trabajo siguiente los autores establecen otro modelo de crecimiento que introduce dos términos que dependen del grado con que el factor más limitante (en este caso el agua útil) afecta al crecimiento (Han et al., 2003). Se encontró que el modelo propuesto funcionaba cuando el crecimiento de las plantas se encontraba limitado por la disponibilidad de agua, lo que frecuentemente ocurría en el verano.

En Argentina también se han estudiado las relaciones entre el clima y la PPNA. En la provincia de Buenos Aires, en pasturas base alfalfa, se determinaron las tasas de crecimiento para diferentes sitios durante cinco años (Trasmonte,

2001). Se encontró que los picos de descenso de la producción debido a los años secos con respecto a los años medios son mucho más marcados que los aumentos debidos a los años húmedos (-30% y +18% respectivamente). Esto indicaría que en los años secos las precipitaciones fueron más limitantes para el crecimiento y que en los años húmedos los excesos de precipitaciones no fueron aprovechados. En Reconquista, Santa Fe, en un pastizal de especies  $C_4$ , se evaluaron cuatro años de crecimiento (Bissio, 1996). Los autores determinaron que existe un excelente ajuste con las temperaturas medias mensuales ( $r^2 = 0.84$ ) y que las precipitaciones mensuales no se relacionaron con la producción mensual. También observaron una relación entre la humedad del suelo y la producción cuando las temperaturas medias superaban los 17 °C.

En la provincia de Corrientes la producción ganadera se basa en la utilización de los pastizales naturales. Para el noroeste de Corrientes se analizaron las respuestas del pastizal frente a cambios en las variables de clima (temperatura y precipitaciones) en tres modelos de regresión lineal múltiple. En todos los casos los modelos incluyen relaciones positivas de la PPNA con las precipitaciones y temperatura (López et al., 2001). Un primer modelo relaciona variables climáticas de un período, fácilmente disponibles para cualquier usuario, con la tasa de crecimiento promedio del período siguiente de 28 días. Otros dos modelos de mayor complejidad relacionan datos climáticos más difíciles de obtener, uno con períodos de 28 días y el otro con productividad acumulada. Dichos modelos no son extrapolables a la región central de la provincia, que tiene

características edáficas, climáticas y botánicas diferentes a las del noroeste. La PPNA de los diferentes pastizales del centro de la provincia fue descrita (Pizzio et al., 2001). Se determinó la productividad y se describió la estacionalidad de la producción. Sin embargo no se determinaron los controles de la variabilidad estacional e interanual de la PPNA. En este trabajo se analizaron las variaciones temporales en la PPNA y su relación con variables climáticas. Sabemos que el clima y la tasa de crecimiento del pastizal fluctúan con cierta reincidencia estacional, pero ¿en qué medida afectan la lluvia y la temperatura a la tasa de crecimiento del pastizal? ¿A qué se debe la variación estacional e interanual de la producción del pastizal?

#### Objetivos generales

Analizar las relaciones entre las variables climáticas y la dinámica estacional e interanual de la PPNA de tres comunidades de pastizales subtropicales húmedos en la provincia de Corrientes.

#### Objetivos Específicos:

- 1- Describir la PPNA promedio y su variabilidad en los tres pastizales.
- 2- Analizar la variabilidad interanual de la PPNA de cada pastizal y sus controles climáticos.
- 3- Analizar la relación entre la PPNA mensual de cada pastizal y las variables climáticas que la determinan.

Aunque las precipitaciones del sitio en estudio sean en promedio de 1483 mm el agua disponible para los pastos sería deficitaria al menos durante ciertos períodos. Esto es debido al suelo de textura arcillosa que retiene fuertemente el agua, y a un horizonte Bt compacto que impide la profundización de las raíces mas allá de los 20 cm. con la consiguiente reducción en la profundidad efectiva explorada. Del mismo modo actúan los suelos más someros, con afloramientos rocosos, que impiden el almacenaje de agua disponible (Purnell y Hein, 1969). Otro motivo para que ocurra el déficit es la alta demanda evapotranspiratoria atmosférica durante los meses de verano, sumado a que el período de mayores precipitaciones llega después, durante el otoño, cuando la demanda evapotranspiratoria disminuye. En este contexto la temperatura aportaría al conocimiento de las relaciones, por su interacción con las plantas y el balance hídrico del suelo. Un supuesto colectivo afianzado en la región es que en invierno el balance hídrico sería positivo en la mayoría de las situaciones y que el principal efecto de la temperatura sería sobre el crecimiento de las plantas, ya sea mediante la cantidad de heladas o por la temperatura media diaria. En el verano el efecto predominante de la temperatura sería sobre el balance hídrico del suelo con relaciones negativas entre el parámetro y la tasa de crecimiento por aumentar el déficit de agua útil en el suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron tres comunidades de pastizales de la zona central de Corrientes: Pajonal (PAJ), Flechillar (FLE) y Pastos Cortos (PCO) (Carnevalli, 1994). En las tres dominan las gramíneas C<sub>4</sub> con un aporte de materia seca de gramíneas C<sub>3</sub> inferior al 5 %, (Benítez y Fernández, 1977). El PAJ es una sabana con predominancia de **Andropogon lateralis** (paja colorada), forrajera C<sub>4</sub> de calidad regular, gregaria, cespitosa, con cañas floríferas de hasta 2 m. de altura, que ocupa coberturas variables entre el 25 al 70 %, evidenciando posiblemente diferencias de manejo que llevan a situaciones de pastizales casi puros, hasta verdaderos mosaicos de praderas y pastizales. Cuando el PAJ es sometido a sobrepastoreo y fuego en reiterados ciclos, **Andropogon lateralis** disminuye o desaparece, debido a la baja adaptación al pastoreo y a los pobres mecanismos de reproducción que posee, dando lugar a la formación de los PCO y FLE. No está claramente determinado el motivo del establecimiento de uno u otro pastizal, pero se postula que FLE se encuentra en suelos más superficiales y pobres, y PCO en suelos más desarrollados y fértiles (Pizzio, 2001). En los PCO dominan **Paspalum notatum**, **Axonopus argentinus**, **Sporobolus indicus** y **Schyzachyrium spicatum**; mientras que en los FLE dominan **Aristida venustula**, **Paspalum notatum**, **Evolvulus sp.** y **Sporobolus indicus**.

La estimación de las tasas de crecimiento de los tres pastizales se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del INTA de Mercedes, provincia de Corrientes, ubicada a 29° latitud sur y 58° longitud oeste (Pizzio et al, 2001 y

Mufarrege, et al, 1991). El clima es subtropical húmedo sin estación seca, las precipitaciones medias anuales del lugar alcanzan los 1483 mm y la temperatura media anual es de 19,7°C.

Los suelos predominantes en la EEA Mercedes y en la región son Molisoles y Alfisoles (Purnell y Hein, 1969). Los primeros, de mayor superficie, son más fértiles químicamente, con 2-3 % de materia orgánica. Los horizontes superficiales son adhesivos y blandos en húmedo y duros en seco. El bajo porcentaje de sodio demuestra que no hay problemas de alcalinidad en ninguno de los dos órdenes. Los Alfisoles son menos fértiles químicamente dado su menor porcentaje de materia orgánica. El horizonte superficial es de material blancuzco, lixiviado y estéril, pero aproximadamente a los 20 cm. se encuentra un horizonte fuertemente argílico. Frecuentemente se asientan sobre afloramientos rocosos. Asimismo las carencias de fósforo disponible son generalizadas en los suelos de la región.

Durante el período Enero 1981- Diciembre 1988 y Enero 1993- Diciembre 1999 el equipo de la EEA Mercedes realizó los cortes de materia seca, al final de cada mes resultando 12 cortes por año. Los cortes se realizaron en potreros de la EEA, que tienen una historia previa y manejo del pastoreo promedio para la región. Se utilizó el método de jaulas móviles de 50 cm x 50 cm para resguardo del pastoreo y antes de cada período de medición se cortó la biomasa a 5 cm de altura para PCO y FLE y a 10 cm para PAJ, teniendo en cuenta el porte erecto de la gramínea dominante. Cada dato fue estimado a partir del promedio de 5 jaulas. Las mismas no serán analizadas como repeticiones, ya que no se cuenta con los datos

individuales. El material cosechado se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante. Los valores mensuales fueron agrupados para los análisis interanuales en estaciones de crecimiento desde Julio hasta Junio del año siguiente.

Los datos climáticos correspondientes al mismo período se obtuvieron en la estación meteorológica de la EEA INTA de Mercedes, Corrientes. Estos son: precipitaciones mensuales, temperaturas medias mensuales, evaporación mensual del tanque "A" y heladas mensuales. Las heladas son tomadas de forma cualitativa (días/mes), y fueron incluidas entre las variables por suponerse un efecto distinto al de la temperatura, pues produciría daños por congelamiento en los órganos vegetales. Para obtener la evapotranspiración potencial a partir de la evaporación del tanque "A" se utilizaron los coeficientes propuestos por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1976).

Para los análisis estadísticos se hicieron regresiones lineales múltiples o simples y se probó la significancia del modelo. Las pendientes y ordenadas al origen se compararon mediante un test de ANOVA, para evaluar las diferencias.

## RESULTADOS

### Descripción de la PPNA promedio

El pastizal de pastos cortos (PCO) presentó la mayor PPNA anual promedio, seguido por el pajonal (PAJ) y finalmente el flechillar (FLE). Cada pastizal presentó también diferente variabilidad entre años, estimada a partir del coeficiente de variación (CV%): PCO resultó el más variable, seguido por FLE y PAJ resultó el de menor variabilidad (Tabla1). La estacionalidad promedio, caracterizada a partir del coeficiente entre el período de máximo crecimiento y el de mínimo, resultó máxima para PCO, seguida por FLE y mínima en PAJ. La eficiencia promedio en el uso de las precipitaciones de los pastizales ( $EUP = PPNA/precipitaciones\ anuales$ ) resultó máxima en PCO y mínima en FLE (Tabla 1).

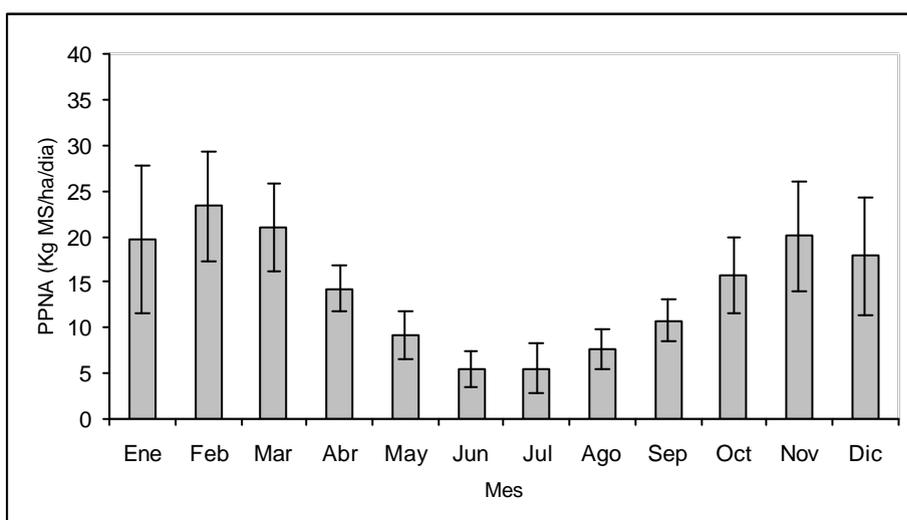
**Tabla 1:** Resumen de la dinámica de la PPNA de tres pastizales de Corrientes: Pastos cortos (PCO), pajonal (PAJ) y flechillar (FLE). PPNA anual y su CV% interanual, máximo/ mínimo indica la relación existente entre las tasas de crecimiento diarias promedio del período de mayor crecimiento y el de menor.

	PPNA (kgMS/ha/año)	CV %	Máximo/mínimo	EUP (kg MS/ mm)
PCO	5906	24	4,7	3,9
PAJ	5182	12	3,3	3,5
FLE	2775	23	4,1	1,9

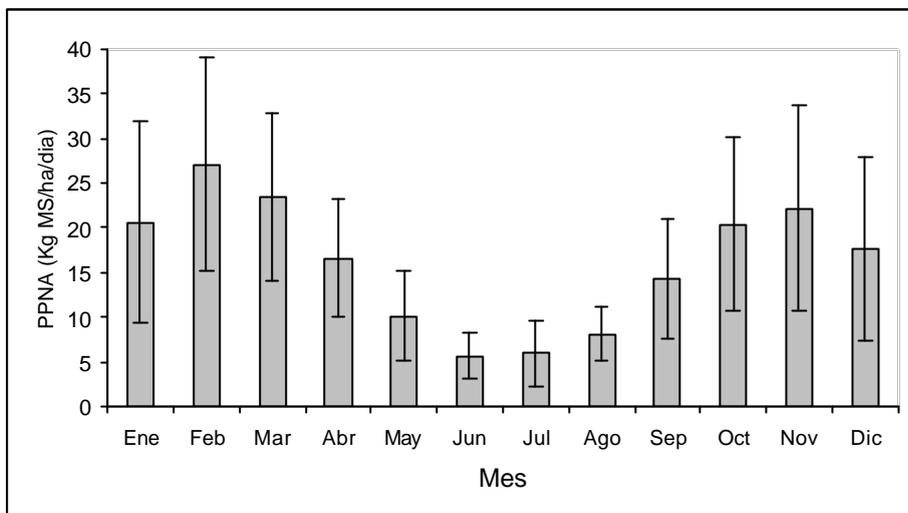
La dinámica estacional promedio de la PPNA es similar para los tres pastizales, mostrando una curva de crecimiento bimodal (gráficos 1). Ocurre un máximo en Noviembre y otro en Febrero, y el mínimo en Junio. La variabilidad interanual de las tasas de crecimiento mensuales, en todos los pastizales, resultó máxima entre Noviembre-Marzo y mínima en Junio- Julio. Existe una alta correlación entre la PPNA mensual de los tres pastizales (Tabla 2).

**Gráficos 1:** tasa de crecimiento diaria por pastizal a) PAJ, b) PCO y c) FLE. Las barras indican el desvío estándar interanual.

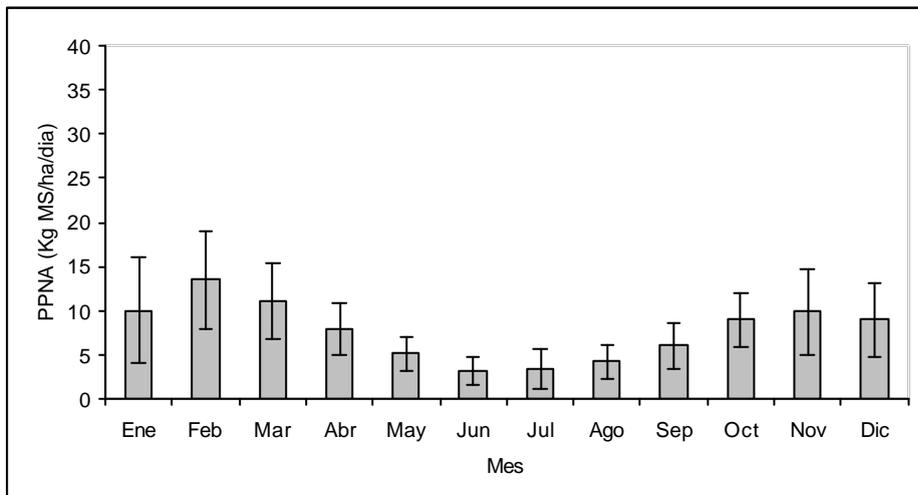
**a) Pajonal**



**b) Pastos Cortos**



**c) Flechillar**



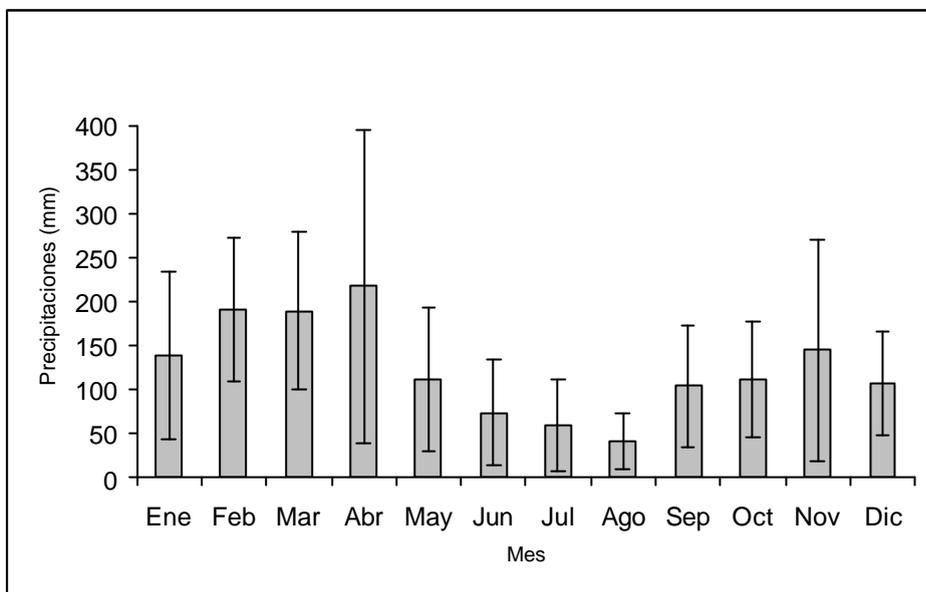
**Tabla 2:** Coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de las relaciones entre la PPNA de las tres comunidades de pastizal ( $p < 0.01$ ,  $n = 180$ )

	<b>PCO</b>	<b>PAJ</b>
<b>PAJ</b>	0.65	-
<b>FLE</b>	0.79	0.59

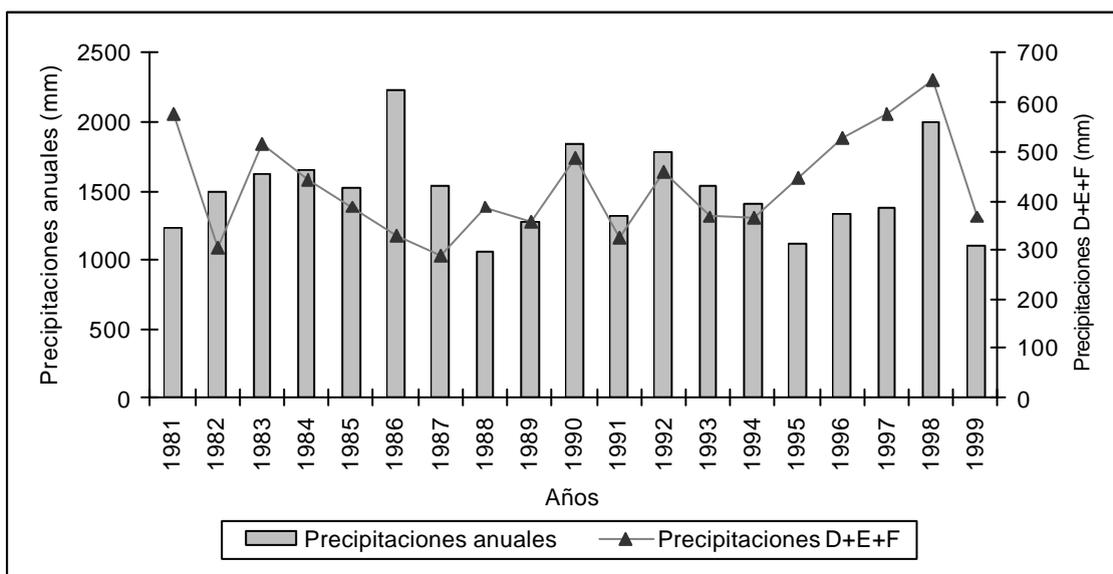
### **Descripción de las variables climáticas y del balance de agua útil**

Las precipitaciones mensuales promedio poseen una distribución bimodal, aunque con gran variabilidad interanual (gráfico 2). Las precipitaciones totales anuales, y la suma de las de Diciembre, Enero y Febrero (los tres meses de mayor temperatura media en promedio), son igualmente variables (gráfico 3). El promedio de precipitaciones anuales es de 1483 mm, con un desvío estándar de 309 mm. La temperatura media mensual alcanza valores máximos en Diciembre-Enero y mínimos en Junio- Julio, siendo la temperatura media anual de 19.7 °C (gráfico 4). Las heladas se concentran en un 90% aproximadamente entre Junio y Agosto.

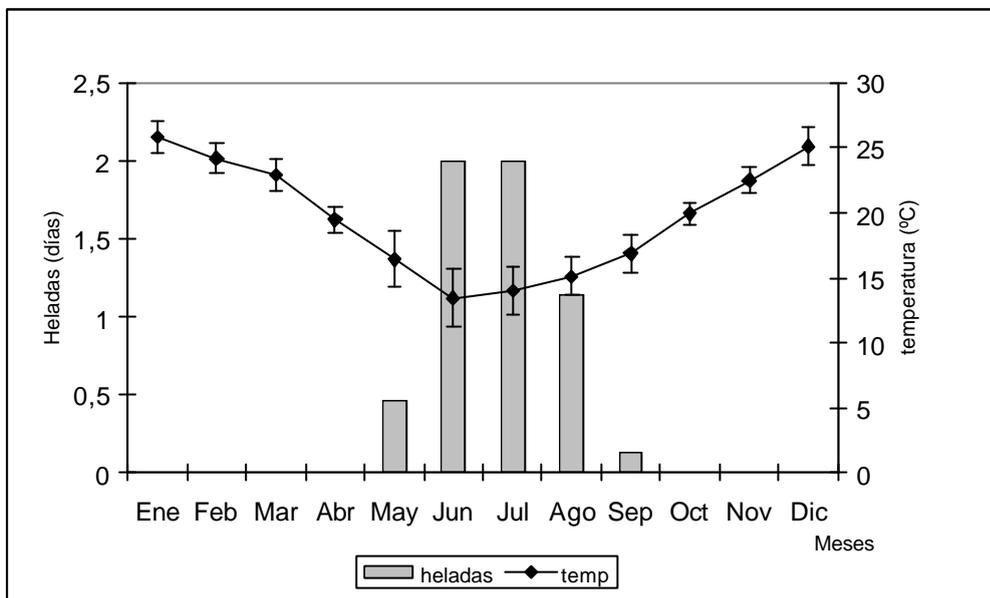
**Gráfico 2:** Precipitaciones mensuales promedio para el período 1981- 1999, con sus respectivos desvíos estándar interanuales



**Gráfico 3:** Precipitaciones totales anuales y precipitaciones de Diciembre, Enero y Febrero del período 1981- 1999



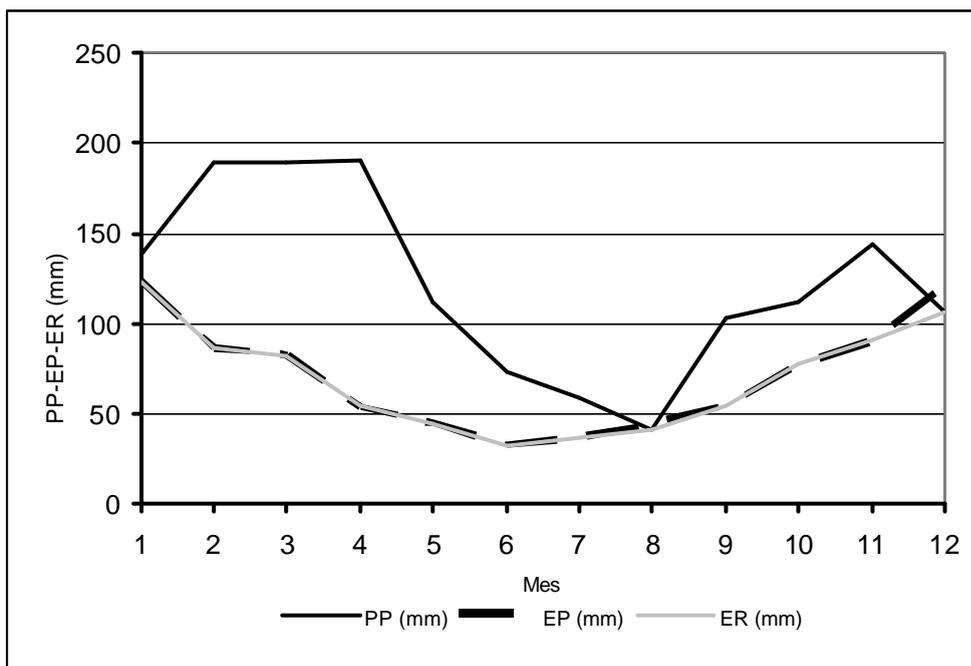
**Gráfico 4:** Temperatura media mensual promedio (°C), con sus respectivos desvíos estándar entre años. Heladas mensuales promedio (días)



A partir de las precipitaciones y de la EP (evapotranspiración potencial) se elaboraron balances hidrológicos seriados, considerando una capacidad de campo de 50 mm, siendo estos los valores utilizados para realizar las regresiones con la PPNA. También se hicieron balances usando menores capacidades de retención, simulando suelos más someros y de diferente textura, para comparar las relaciones de los distintos pastizales. En el gráfico 5, se observa la marcha promedio para el período en estudio, de los componentes del balance, a fin de caracterizar la región. La diferencia entre la EP y la ER (evapotranspiración real), el déficit de agua útil, se manifiesta solamente en Agosto y en Diciembre. Esto significaría que las precipitaciones no son tan limitantes. Sin embargo la gran variabilidad interanual de las precipitaciones y de la EP, hace que en el 37% de los

meses haya un déficit de agua útil. Estos déficits no se observan en el promedio por ser compensados por los meses con excesos.

**Gráfico 5:** Estacionalidad promedio de la precipitación (PP), evapotranspiración potencial (EP) y evapotranspiración real (ER).

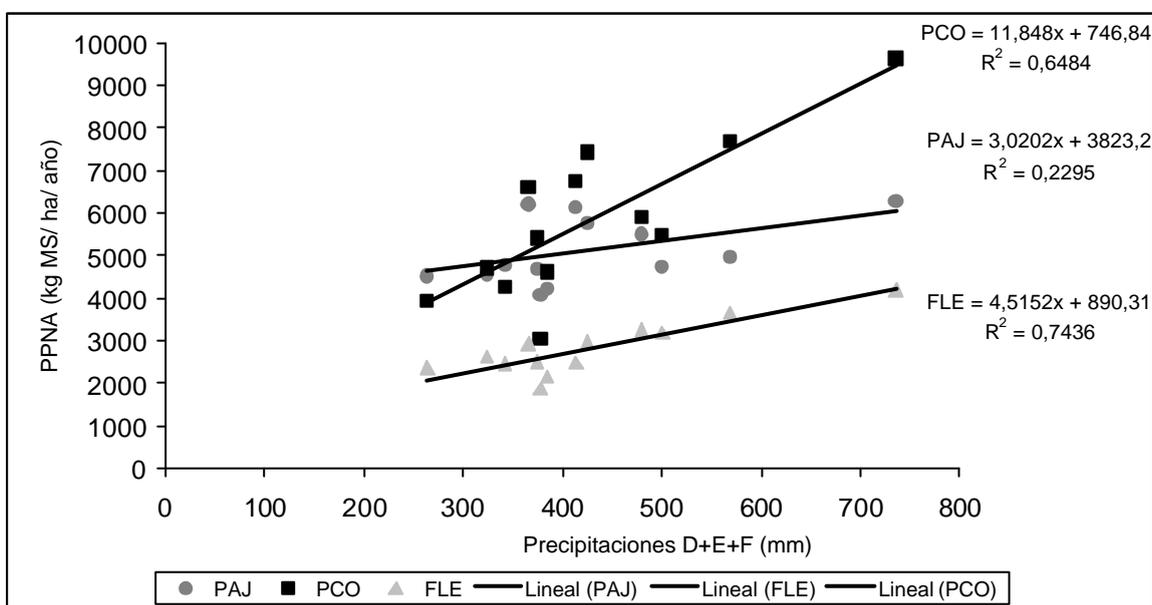


### Análisis de la variabilidad interanual y sus controles

Cuando se analizó la relación entre la PPNA anual, tomada en períodos de crecimiento desde Julio hasta Junio del año siguiente, y las precipitaciones acumuladas en el período no se encontraron relaciones significativas. Tampoco resultaron descriptivas las otras variables climáticas (temperatura, EP, ER, H).

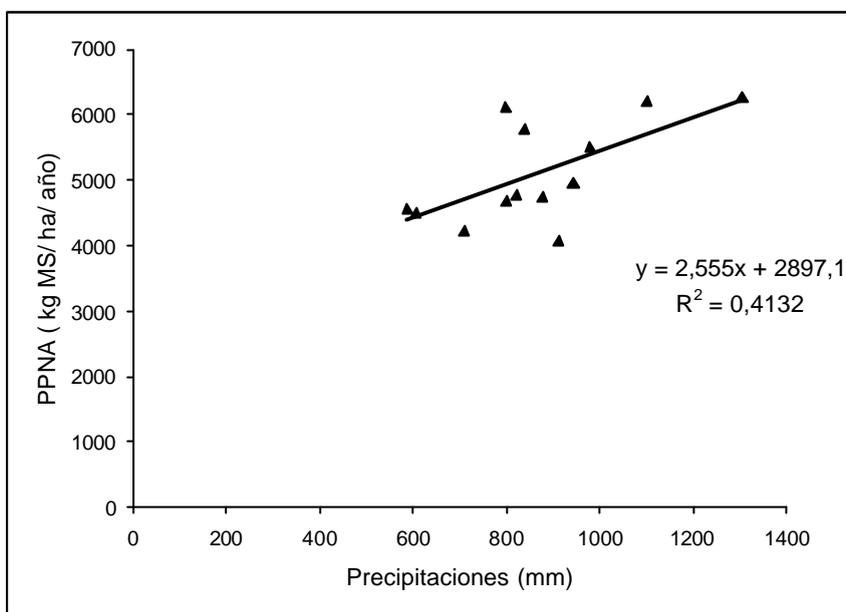
Teniendo en cuenta solamente las precipitaciones estivales (Diciembre, Enero y Febrero), la PPNA anual de los tres pastizales presentó relaciones significativas (gráfico 6). La regresión para PAJ presentó una significancia baja ( $p < 0.1$ ,  $n=13$ ), y fue altamente significativa en FLE y PCO ( $p < 0.01$ ,  $n=13$ ).

**Gráfico 6:** Relación de la PPNA anual con la suma de las precipitaciones de Diciembre, Enero y Febrero (PCO y FLE =  $p < 0.01$ ,  $n=13$ , PAJ =  $p < 0.1$ ,  $n=13$ )



Las precipitaciones estivales del período de crecimiento anterior también controlan la PPNA de PAJ. La inclusión de las precipitaciones estivales de la estación de crecimiento anterior mejoró la descripción de la PPNA anual en el PAJ ( $p < 0.01$ ,  $n= 13$ ) (gráfico 7). Las precipitaciones estivales del año anterior no mejoraron las relaciones con la PPNA en el caso de PCO y FLE.

**Gráfico 7:** Relación de la PPNA anual de PAJ con la suma de las precipitaciones de Diciembre, Enero y Febrero del mismo período, más las precipitaciones de los mismos meses del período anterior ( $p < 0.01$ ,  $n = 13$ ). En el caso de PCO y FLE las regresiones no son significativas.



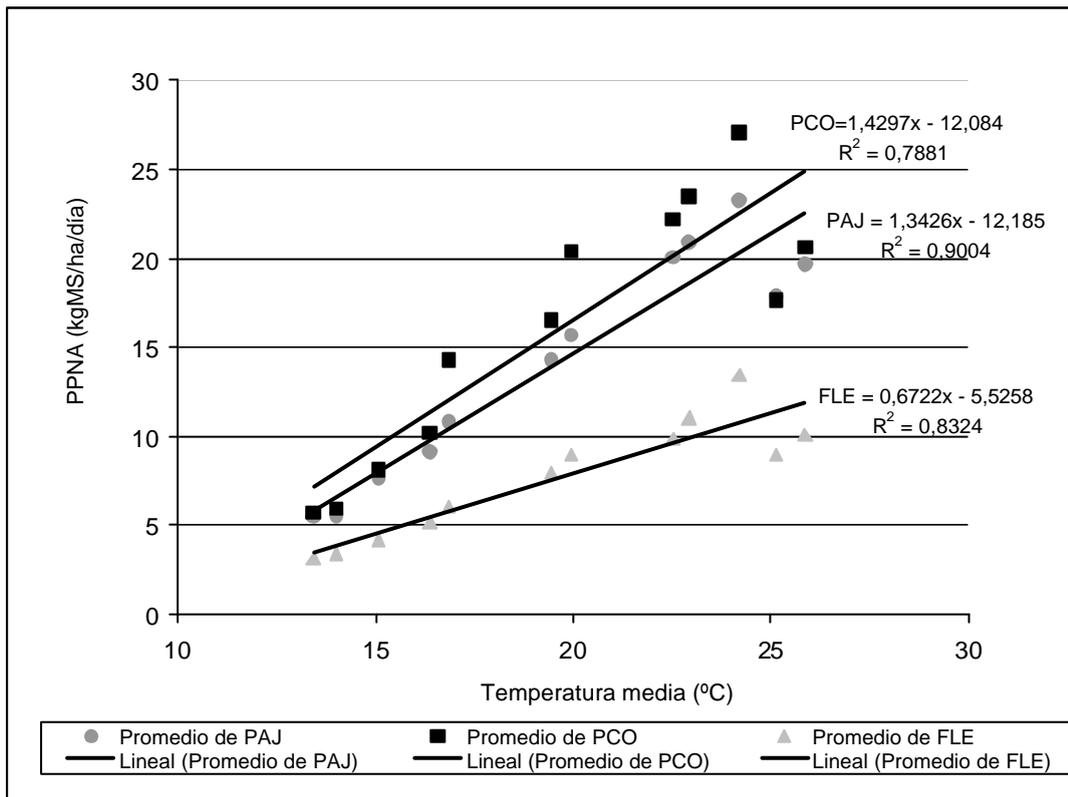
### Análisis de la PPNA mensual y sus controles

En los gráficos 8 figuran las relaciones del promedio de las tasas de crecimiento mensuales, con la temperatura media mensual promedio (gráfico 8- a) o con las precipitaciones mensuales promedio (gráfico 8-b) ( $p < 0.01$ ,  $n=12$ ). En general se obtienen mejores ajustes con la temperatura que con las precipitaciones. Las ecuaciones de PCO y PAJ con la temperatura media no difieren significativamente ( $p < 0.01$ ). Sin embargo FLE posee una pendiente menor, lo que marca una diferencia en la respuesta a la temperatura media. Las diferencias entre las pendientes de los pastizales con las precipitaciones no son

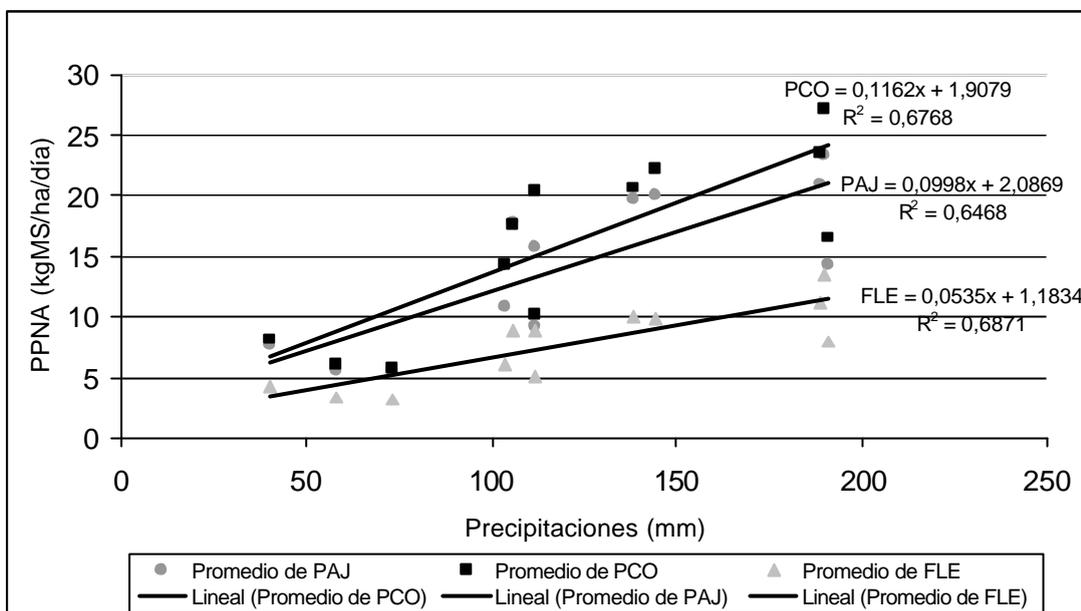
significativamente distintas. Pero la ordenada al origen de FLE difiere significativamente, siendo menor ( $p < 0.01$ ).

### Gráficos 8:

a) Relaciones entre la temperatura mensual promedio y la PPNA mensual promedio de cada pastizal ( $p < 0.01$ ,  $n=12$ ).



**b)** Relaciones entre las precipitaciones mensuales promedio y la PPNA mensual promedio de cada pastizal ( $p < 0.01$ ,  $n=12$ ).



La variabilidad interanual de la precipitación y la temperatura controla la variabilidad de la PPNA de algunos meses. En la tabla 3 se muestra el análisis de correlación entre las variables climáticas y la PPNA mensual, para cada mes del año. La mayor parte de las relaciones significativas con las precipitaciones se da en los meses de verano, excepto Noviembre y Febrero. La temperatura se relaciona en forma positiva en los meses de invierno, excepto Agosto, y en forma negativa en los meses de Enero y Marzo. En PAJ y PCO hay más relaciones significativas con la temperatura que con las precipitaciones. En cambio en FLE se encuentran más relaciones significativas con las precipitaciones que con las temperaturas.

**Tabla 3:** Relaciones significativas ( $p < 0.05$ ,  $n = 15$ ) entre las precipitaciones y temperatura con la PPNA mensual, en cada mes. Se observan los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y las pendientes de estas relaciones (a)

	Variable		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
PAJ	PP	a										0,04		0,08	
		$r^2$										0,49		0,57	xx
	TEMP	a					0,62	0,41	1,03		1,12	2,7			
		$r^2$					0,27	0,22	0,47		0,46	0,34			xxxxx
PCO	PP	a	0,06									0,11		0,13	
		$r^2$	0,24									0,59		0,56	xxx
	TEMP	a	-4,2		-3,9			0,6	1,46		2,71				
		$r^2$	0,21		0,27			0,27	0,53		0,34				xxxxx
FLE	PP	a	0,04					0,02				0,03	0,02	0,04	
		$r^2$	0,31					0,36				0,52	0,2	0,37	xxxxx
	TEMP	a			-2,1				0,87		1,18	1,76			
		$r^2$			0,4				0,52		0,41	0,27			xxxx
Total	PP		xx					x				xxx	x	xxx	
	TEMP		x		xx		x	xx	xxx		xxx	xx			

Se analizaron las relaciones entre las variables climáticas y la productividad de todos los meses de todos los años. Los mejores ajustes se obtienen con la temperatura media mensual y con la evapotranspiración real (ER), seguidos por los de las precipitaciones y heladas, en los tres pastizales (tabla 4). Las pendientes son positivas, excepto la de heladas, con pendiente negativa. Los modelos de regresión múltiple incrementan el ajuste solo muy levemente.

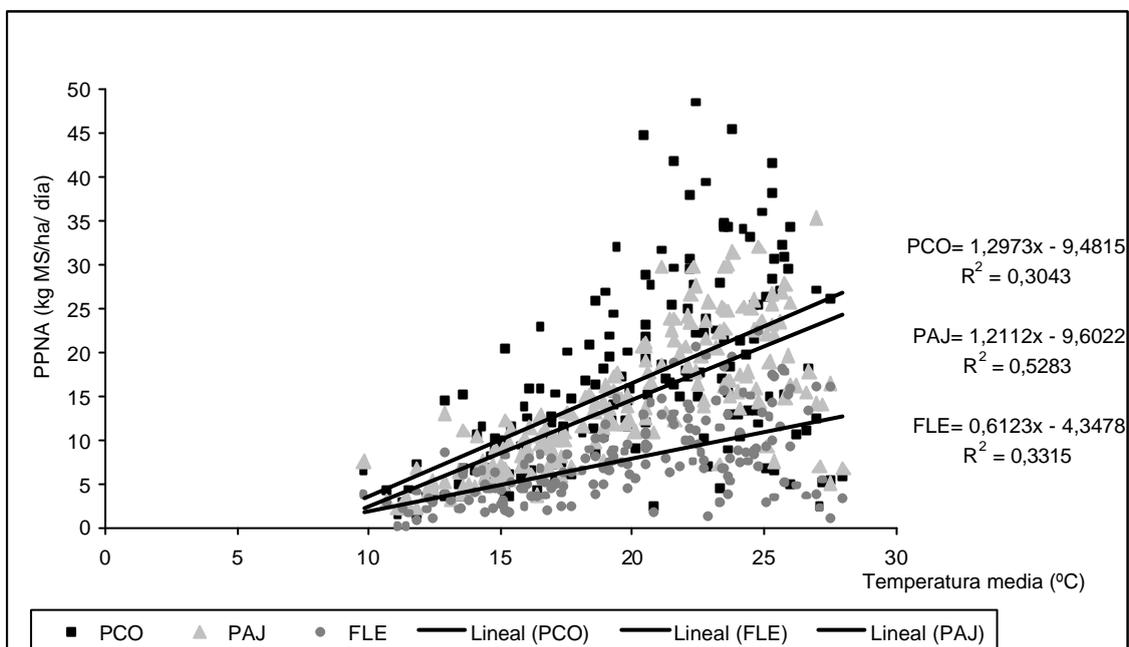
**Tabla 4:** Coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de las relaciones lineales entre las variables climáticas y la productividad mensual de los pastizales ( $p < 0.01$ ,  $n = 180$ ). TEMP: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), PP: precipitaciones (mm), ER: evapotranspiración real (mm), H: heladas (días)

	PAJ	PCO	FLE
TEMP	0,53	0,30	0,33
PP	0,23	0,18	0,23
ER	0,50	0,31	0,33
H	0,21	0,15	0,15
TEMP+PP	0,58	0,37	0,42
TEMP+ ER	0,58	0,35	0,37
TEMP+PP+ER	0,61	0,38	0,44

La ER, calculada a partir del balance hidrológico seriado, se relaciona con la PPNA de manera similar a la temperatura. Esto es debido a que la EP está altamente relacionada con la temperatura media, y a su vez la ER es igual a la EP en la mayoría de los meses. Por lo tanto la ER, tal como se la estimó, está determinada directamente por la temperatura y es esta la que controla la PPNA.

La variable que mejor describe la PPNA mensual es la temperatura media mensual. En el gráfico 9 figuran las rectas de ajuste de la PPNA de los tres pastizales con la temperatura media. Sin embargo en este modelo se encuentran diferencias significativas entre años, lo que significa que no todos los años responden de la misma manera a la temperatura. La recta de ajuste de FLE difiere significativamente de las de PCO y PAJ ( $p < 0.01$ ), siendo estas dos iguales ( $p > 0.05$ ). Aquí se observa que la dispersión de los datos aumenta notablemente a altas temperaturas.

**Gráfico 9:** Relación de la productividad mensual de los tres pastizales con la temperatura media mensual ( $p < 0.01$ ,  $n=180$ ).



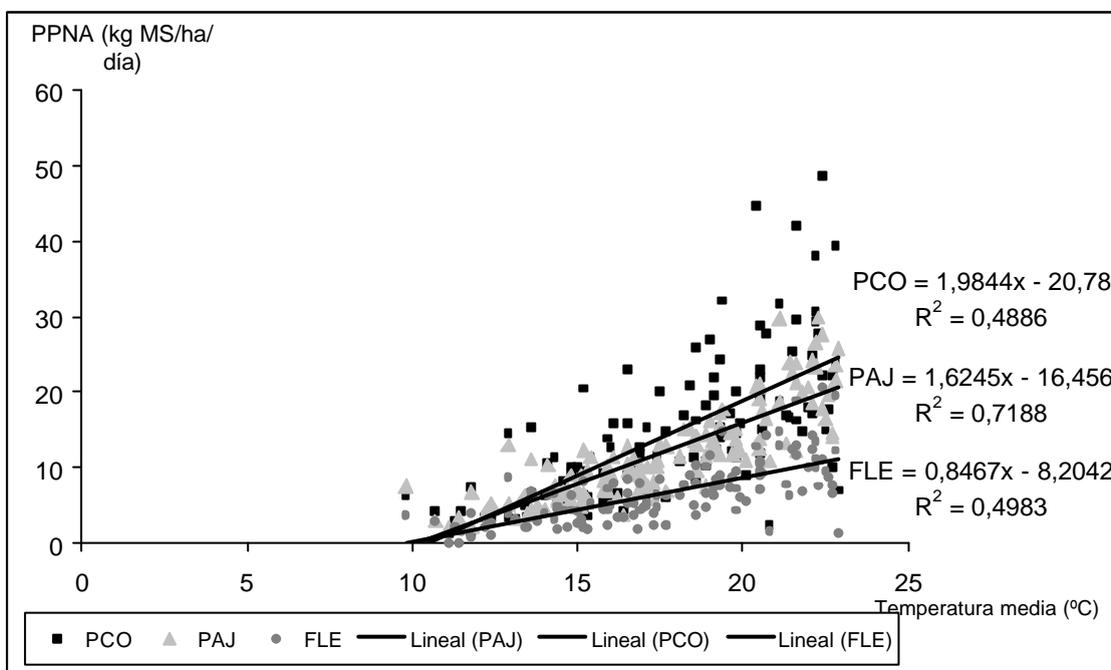
Analizando solamente los meses donde la temperatura media es inferior a los 23 °C, la relación con la temperatura se hace mas estrecha y las otras variables pierden importancia descriptiva (tabla 5). Es importante destacar que aproximadamente en el 70 % de los meses la temperatura media es inferior a los 23 °C, y estos concentran alrededor del 60 % de la producción total, en los tres pastizales.

**Tabla 5:** Coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de las relaciones lineales entre las variables climáticas y la productividad mensual de los pastizales en los meses donde la temperatura media es menor a los 23 °C ( $p < 0.01$ ,  $n = 128$ ). NS: no significativas  
 TEMP: temperatura (°C), PP: precipitaciones (mm), ER: evapotranspiración real (mm), H: heladas (días)

Temp < 23 °C	PAJ	PCO	FLE
TEMP	0,72	0,48	0,49
PP	0,20	0,15	0,21
ER	0,61	0,45	0,44
H	0,22	0,17	0,18
TEMP+PP	NS	NS	0,51
TEMP+ ER	0,75	0,52	0,52

Al eliminar los meses más cálidos la dispersión de los datos respecto a la recta de ajuste de la respuesta a la temperatura media disminuye (Gráfico 10), habiendo también un efecto significativo del año ( $p < 0.01$ ,  $n = 128$ ). Los parámetros de las rectas de ajuste difieren significativamente entre pastizales, excepto las pendientes de PAJ y PCO que son similares, siendo sus ordenadas al origen significativamente distintas ( $p < 0.01$ ).

**Gráfico 10:** Relación entre la productividad mensual de los meses donde la temperatura media es inferior a los 23 °C, con la temperatura media mensual, en los tres pastizales ( $p < 0.01$ ,  $n=128$ )



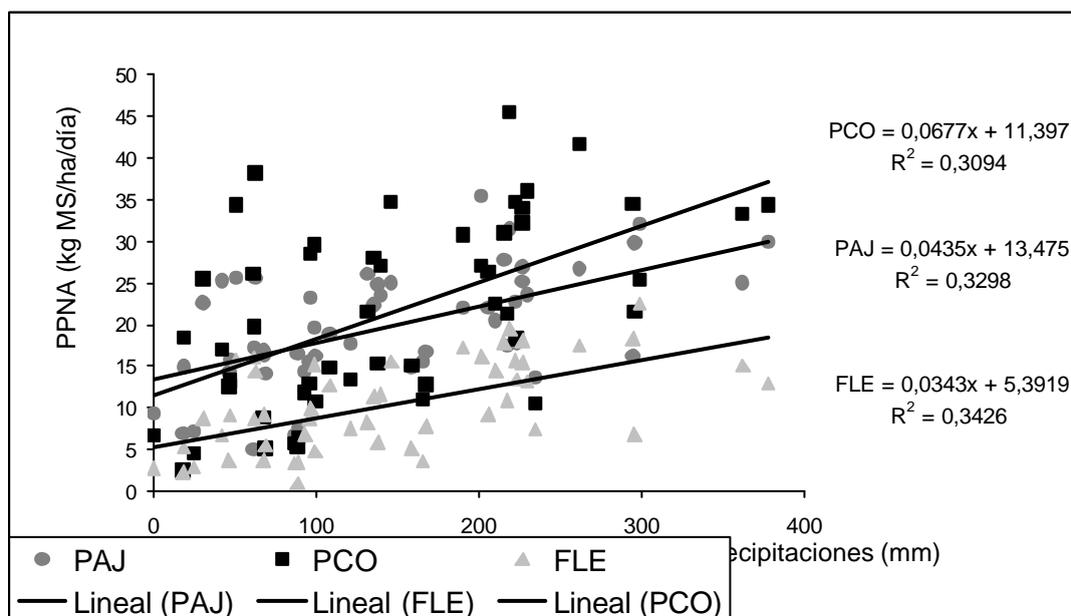
Durante los meses más cálidos, con temperaturas medias superiores a los 23 °C, la variable que mejor se relaciona con la productividad mensual son las precipitaciones del mismo mes, no habiendo diferencias significativas entre años ( $p < 0.01$ ,  $n= 52$ ) (tabla 6). Aquí la temperatura no se relaciona con la PPNA. Este valor de ruptura de la relación con la temperatura, 23 °C, fue elegido maximizando el ajuste de la temperatura con la PPNA en los meses mas frescos, y los tres pastizales se comportan de la misma manera. Las precipitaciones también obtienen en los meses con temperatura media superior a los 23 °C su mejor ajuste en los tres pastizales (gráfico 11). Las regresiones de PAJ y PCO no son

diferentes, y FLE posee una pendiente similar, pero una ordenada al origen inferior ( $p < 0.01$ ).

**Tabla 6:** Coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de las relaciones lineales entre las variables climáticas y la productividad mensual de los pastizales en los meses donde la temperatura media es mayor a los 23 °C ( $p < 0.01$ ,  $n = 52$ ). NS: no significativas  
 TEMP: temperatura (°C), PP: precipitaciones (mm), ER: evapotranspiración real (mm), H: heladas (días)

temp > 23 °C	PAJ	PCO	FLE
TEMP	0,07	0,05	NS
PP	0,33	0,31	0,34
ER	0,06	NS	NS
TEMP+PP	0,06	NS	NS
TEMP+ ER	0,16	NS	NS

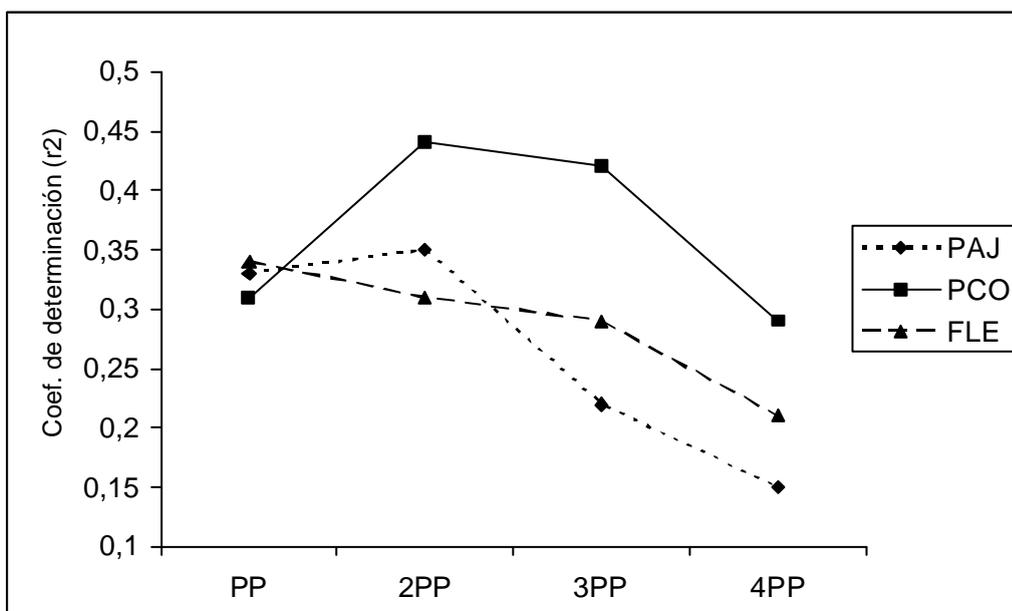
**Gráfico 11:** Relación de las precipitaciones con la PPNA de los tres pastizales cuando la temperatura media mensual es superior a los 23 °C ( $p < 0.01$ ,  $n=52$ )



Se decidió profundizar en el comportamiento de la PPNA frente a las precipitaciones en los meses más cálidos (con temperatura media superior a los 23 °C). Cuando se tuvieron en cuenta las precipitaciones de los meses anteriores, el comportamiento varió dependiendo del pastizal (gráfico 12). En PCO las precipitaciones actuales más las del mes anterior mejoraron sensiblemente el ajuste, respecto al modelo que solo incluye las precipitaciones actuales. Sin embargo las precipitaciones de los dos o tres meses anteriores no mejoraron el ajuste. En PAJ y FLE las precipitaciones anteriores no mejoraron la descripción respecto al modelo de precipitaciones actuales.

**Gráfico 12:** Relación entre el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de la relación entre la PPNA mensual de cada pastizal y las precipitaciones acumuladas en periodos mensuales crecientes, según pastizal, durante los meses con temperatura media superior a los 23 ° C.

PP: precipitaciones actuales, 2PP: actuales + mes anterior, 3PP: actuales + 2 meses anteriores, 4PP: actuales + 3 meses anteriores ( $p < 0.01$ ;  $n = 52$ )



Se compararon las ecuaciones de las relaciones promedio con la temperatura (gráfico 8- a) con las ecuaciones del modelo estacional de respuesta a la temperatura (gráfico 9). Las ecuaciones no difieren significativamente dentro de cada pastizal, por lo que es posible calcular una sola ecuación para ambos modelos ( $p < 0.01$ ).

También se hicieron balances hidrológicos seriados con menores capacidades de retención del suelo a la utilizada en las otras regresiones, simulando suelos más someros, pero no se observaron diferencias entre pastizales en cuanto a las rectas de ajuste y valores del coeficiente de determinación.

## DISCUSIÓN

La PPNA de las tres comunidades de pastizales (tabla 1) resultó semejante a la de otros pastizales de condiciones ambientales similares. En un pastizal dominado por gramíneas  $C_4$  en Reconquista, Santa Fé se estimó una PPNA de 4.12 tn MS/ ha/ año (Bissio, 1996). En varios sitios de Corrientes se evaluó la PPNA de pastizales, habiendo predominancia de especies  $C_4$  en todos los casos. En el sitio malezal, con anegamiento temporal frecuente, la PPNA promedio fue de 5.26 tn MS/ ha/ año y un coeficiente de variación (CV) interanual del 18 % (Gándara et al., 1989). En los albardones del Paraná, con buen drenaje y medianamente fértiles, la PPNA promedio fue de 4.85 tn MS/ ha/ año y un CV interanual del 19.6 % (Gándara et al., 1990 a). En cambio en suelos arenosos del centro de la provincia, con baja fertilidad química la PPNA promedio fue de 4.12 tn MS/ ha/ año y un CV interanual de 15 % (Gándara et al., 1990 b). Pastizales de Uruguay, aunque con mayor proporción de especies  $C_3$ , presentaron una PPNA de entre 3.98 y 7.77 tn / ha/ año según el estado de pastoreo (Altesor et al., 2005). La menor PPNA de FLE podría deberse principalmente a la menor profundidad y fertilidad de sus suelos. Las diferencias entre PCO y PAJ son debidas principalmente a los mayores picos de producción de PCO en condiciones climáticas favorables, es decir en veranos con precipitaciones abundantes. Esto se debería a las diferencias en las especies que conforman las comunidades, ya que no se han documentado diferencias en los suelos.

Las eficiencias en el uso de las precipitaciones de PCO y PAJ resultaron bajas pero dentro de los rangos citados por la literatura. FLE presentó una EUP inferior a los datos de la literatura (tabla 1). Esto ocurriría porque la estacionalidad de las precipitaciones no coincide con los períodos de mayor temperatura y por la baja fertilidad de los suelos de la región. En zonas áridas se encontró una EUP promedio de 4 kg MS/mm para 1500 sitios, siendo este un indicador del tipo, condición y productividad del pastizal (Le Houérou et al., 1988). En pastizales templados húmedos como en Uruguay la EUP varía entre 5.7 y 2.9 kg MS/ mm según el estado de conservación del pastizal (Altesor et al., 2005). En pastizales húmedos templados de la Pampa Deprimida la EUP promedio es de 5.9 kg MS/mm (Deregibus et al., 1995). Estudios previos muestran mayores EUP para pastizales con precipitaciones de entre 200 y 1200 mm (Paruelo et al. 1999) y para otros biomas (Huxman et al., 2004). Sin embargo no se encuentran pastizales en los estudios previos en sitios de tan alta precipitación. Por lo tanto, podría existir una limitante estructural para un mayor aprovechamiento de las precipitaciones de estos pastizales, probablemente determinada por el poco desarrollo y la baja fertilidad de los suelos de la zona analizada en esta tesis.

La suma de las precipitaciones de Diciembre, Enero y Febrero es la variable que mejor explica la variabilidad interanual de la PPNA total de la estación de crecimiento, no habiendo relaciones significativas con la temperatura media anual o con las precipitaciones totales del período. Sin embargo entre meses la temperatura explica una mayor proporción de los cambios en la PPNA. Esto se debería a que la temperatura es la variable que mejor se relaciona en los meses

más frescos donde las producciones son más bajas y menos variables. En cambio en los meses de verano, que son los más variables y más productivos (gráficos 1), son las precipitaciones las que mejor describen la productividad. Los aumentos lineales de la PPNA con el aumento de las precipitaciones (gráfico 6) mostrarían que existe una capacidad de producción potencial no realizable debido a la falta de agua. Esta característica fue descrita para pastizales con 340 mm de precipitación (Heitschmidt y Vermeire 2006), y en este trabajo podemos inferir una situación similar con una precipitación cinco veces más alta. Por otra parte esta situación es estacional y lluvias en otros meses no aumentan la PPNA. Es por esto que no se encuentran relaciones entre la PPNA y las precipitaciones totales.

Las precipitaciones estivales del año anterior tuvieron un impacto diferencial sobre la PPNA de las tres comunidades. Mientras que en PCO y FLE no parecen tener influencia sobre la PPNA actual, si lo tienen sobre PAJ. Los efectos de años previos sobre la productividad del año han sido descritos en diferentes sistemas áridos del mundo (por ejemplo Oesterheld et al. 2001, Wiegand et al. 2004), pero no se han descrito resultados similares en pastizales húmedos. Uno de los motivos de estos resultados podría ser que PCO y FLE presentan una alta dependencia de las precipitaciones estivales actuales (gráfico 6), por lo que la mejora relativa de incluir las precipitaciones estivales anteriores sería menor. Otro motivo podría estar vinculado con la mayor susceptibilidad de **Andropogon lateralis**, especie dominante de PAJ, al sobrepastoreo. Esta característica podría disminuir la capacidad de rebrote luego de años secos y aumentarla luego de años húmedos.

Es probable que parte de la variabilidad no explicada por la precipitación se deba a la temperatura media, principalmente en PAJ donde la producción estival es más estable y en los meses más frescos se observa un buen ajuste con la temperatura media. A su vez la alta variabilidad en los meses estivales está dada por las características del control climático preponderante, debido a que las precipitaciones son más fluctuantes que la temperatura media en términos relativos (CV precipitaciones = 82 %, CV temperatura media = 23 %). También es esperable que las precipitaciones de otras estaciones tengan influencia sobre la PPNA, aunque en menor medida

A partir del año 1986 y durante tres años consecutivos, se efectuó una disminución de la carga animal en los potreros de la EEA, donde se efectuaron las determinaciones de las tasas de crecimiento. Esto habría determinado una mejora en la condición del pastizal, que se reflejó en una disminución del porcentaje de suelo desnudo (Mufarrege et al., 1991) y en aumentos en la PPNA. Estos cambios en el manejo podrían explicar parte de la variabilidad interanual encontrada.

Analizando las relaciones entre la PPNA y las variables climáticas mensuales promedio (gráficos 8) vemos que se encuentran mejores ajustes con la temperatura media que con las precipitaciones. Se observa que a bajas temperaturas mensuales medias, los tres pastizales tienen producciones similares, pero a altas temperaturas PCO y PAJ superan a FLE (gráfico 8- a). Esto se debería a que en los meses de menor temperatura es esta la que limita el

crecimiento, pero en los meses de mayor temperatura las precipitaciones controlan el crecimiento, y es aquí donde se notan más las diferencias entre pastizales. No se documentan diferencias en cuanto a la relación de especies  $C_3/C_4$  entre pastizales teniendo menos del 1% de especies  $C_3$  (Pizzio, 2001) con un aporte menor al 5 % de materia seca (Benítez y Fernández ,1977). Respecto a las precipitaciones medias mensuales, la menor ordenada al origen de FLE (gráfico 8-b) podría deberse a una menor capacidad de retención de agua en el suelo, ya que en suelos someros a mayores precipitaciones se produciría menor evapotranspiración real, debido principalmente a la pérdida de agua del perfil por escurrimiento superficial (Huxman et al. 2005). Otras causas de las diferencias se deberían a cuestiones tales como porcentaje de cobertura, composición botánica, fertilidad química del suelo, etc.

La similitud entre las ecuaciones de las rectas de ajuste del gráfico 9 con las del gráfico 8- a dentro de cada pastizal, sugeriría que los meses se ubican en diferentes segmentos dentro de la recta del gráfico 9. El menor ajuste de la recta del gráfico 9 respecto a la del gráfico 8-a se debe a la variabilidad interanual dentro de cada mes no explicada por las temperaturas medias. Esto también se distingue en la tabla 3.

Las relaciones mensuales entre la PPNA y las variables climáticas (tabla 3) presentan un cierto patrón de distribución. La mayoría de las relaciones positivas con la temperatura se da en los meses invernales y algunas negativas en meses estivales. En los meses estivales se presentaron relaciones positivas con las

precipitaciones. Estos resultados jerarquizan los controles de la variabilidad interanual dentro de cada mes. Noviembre es el mes estival con mayor variabilidad en las precipitaciones y Febrero es el mes estival con mayores precipitaciones promedio (gráfico 2), lo que explicaría las menores relaciones con las precipitaciones respecto al resto de los meses estivales. En Agosto no se vería un efecto de la temperatura media por la gran amplitud térmica que se suele dar en un mismo mes por ser un mes de transición entre un fresco y otro templado, y durante el cual ocurriría el comienzo de la estación de crecimiento, lo que determina que la temperatura media no refleje las condiciones predominantes en el mes.

La temperatura media es la variable que mejor describe la PPNA mensual de los tres pastizales (gráfico 9), aunque la respuesta a la misma varía dependiendo del año. Este efecto del año desaparece en el modelo de respuesta a las precipitaciones en los meses de temperatura media superior a los 23 °C (gráfico 11). Esto se debe probablemente a que parte de la variabilidad interanual es debida a las precipitaciones, que afectan las respuestas a la temperatura media.

La relación con la temperatura media mejora cuando esta es inferior a los 23 °C. Esto significa que independientemente del mes o estación que se trate, si la temperatura media es inferior a los 23 °C, esta constituye el mayor control del crecimiento del pastizal. Trabajos previos demostraron que pastizales

megatérmicos incrementan en forma lineal su crecimiento hasta los 32 °C en condiciones hídricas no limitantes (Primavesi, 1999). En condiciones de laboratorio se observaron incrementos lineales en las tasas de crecimiento hasta los 40 °C en especies C<sub>4</sub> (Azcón Bieto et al., 2000). Estas diferencias se deberían a las condiciones hídricas y nutricionales existentes en cada caso principalmente, y a las especies estudiadas. La temperatura covaría también con factores como la radiación incidente, las heladas, el fotoperíodo o la tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo. Por lo tanto, puede ser que alguno/s de estos factores sean los que controlen el crecimiento directamente, tal como ocurre con el fotoperíodo en gramíneas subtropicales (Sinclair et al., 2001).

Por encima de los 23 °C son las precipitaciones las que mejor describen la productividad mensual del pastizal (gráfico 11), y no se halla relación con la temperatura media, independientemente del año en cuestión. Similares resultados se encontraron para un pastizal de Santa Fé, donde la humedad del suelo se relaciona con la PPNA, cuando la temperatura media supera los 17 °C (Bissio, 1996). En algunos casos es posible que la temperatura en estos meses se relacione negativamente con la PPNA por dos motivos:

- por tratarse de valores superiores al óptimo para el crecimiento del pastizal, ya que muchas especies C<sub>4</sub> aún en condiciones hídricas no limitantes suelen presentar una respuesta a la temperatura con un óptimo (Azcón Bieto et al., 2000).
- por afectar negativamente al balance de agua útil a través de un aumento en la EP. Este efecto se incrementa a altas temperaturas, porque la relación que esta guarda con la EP es exponencial ( $r^2 = 0.78$ ,  $p < 0.01$ ,  $n = 180$ ), y porque a altas EP

las precipitaciones no alcanzan a satisfacer la demanda. Interacciones similares entre temperatura y precipitaciones, mediadas por la EP, fueron documentadas a escala regional (Epstein et al., 1997).

La PPNA se relaciona de manera similar con la ER y con la temperatura media. Esto se debe a que, como se explicó anteriormente, la EP está altamente relacionada con la temperatura media del mismo período. Por otro lado la ER es igual a la EP en la mayoría de los meses, según el modelo de balance hidrológico utilizado.

Al considerar las precipitaciones del mes anterior se mejora la descripción de la PPNA de PCO de los meses de mayor temperatura (gráfico 12). A su vez la cantidad de meristemas existentes por unidad de superficie sería una limitante en la respuesta en PPNA en el corto plazo, frente a cambios en las precipitaciones (Dalglish y Hartnett, 2006). La especie dominante en PCO, **Paspalum notatum**, posee raíces rizomatosas con mayor número de meristemas que las raíces de las otras especies. Entonces el mayor impacto de las precipitaciones del mes anterior en la respuesta del PCO, se debería a la influencia de estas sobre el rebrote de los rizomas de **Paspalum notatum** en el mes anterior, lo que a su vez condiciona su respuesta en el período en análisis.

Considerando que FLE se encuentra en suelos más someros que PCO y PAJ (Pizzio, 2001), se buscaron diferencias en los comportamientos entre pastizales a las variables climáticas. Las diferencias encontradas relacionadas con

el tipo de suelo de cada pastizal son menores a las esperadas. La resolución temporal del balance hídrico dificultaría una correcta simulación de lo que ocurre con la disponibilidad de agua para las plantas. La existencia de déficits o excesos puntuales no se verían reflejados mediante la metodología empleada.

### **Alcances de este trabajo en ambientes modificados**

Así mismo posibles cambios climáticos tendrían consecuencias sobre la PPNA de los pastizales, y por adición sobre la capacidad de carga de los mismos. De este trabajo se desprende que sería más importante la influencia de cambios en el régimen estacional de las precipitaciones, que la disminución de las precipitaciones anuales totales debida a menores precipitaciones en todas las estaciones. Una disminución en las lluvias estivales sería crítica en este sentido, mientras que si eso ocurre en otras estaciones sus consecuencias serían menores ya que el mayor control climático en estos meses es la temperatura media. Sin embargo estas predicciones serían válidas siempre y cuando los cambios climáticos se mantengan en rangos similares a los del período estudiado (Nippert, et al., 2006). Aumentos en la temperatura de los meses más frescos posiblemente traigan mayores tasas de crecimiento. Un aumento de la temperatura en los meses de verano, traería más meses con temperaturas medias superiores a los 23 °C, y una mayor dependencia de las precipitaciones, lo que haría a la PPNA más errática. Menos predecibles son los cambios en la composición de especies que podrían darse asociados a dichos cambios climáticos.

El efecto que tendrá el aumento del carbono atmosférico (como CO<sub>2</sub>) sobre la productividad de los pastizales y sobre la producción animal, sería mayor en situaciones limitadas por agua y en pastizales megatérmicos, donde habría que considerar un probable aumento de la productividad y una disminución en la calidad del forraje, resultando en aumentos en la producción secundaria por unidad de superficie (Campbell y Stafford Smith, 2000). Aún son poco conocidas las capacidades de los pastizales y sabanas como sumideros de carbono, sin embargo dado la superficie que ocupan son de importancia estratégica. En el futuro podrían cobrar importancia en este sentido, realizando un control del pastoreo y de las quemas periódicas (Grace et al., 2006).

## CONCLUSIONES

Los controles climáticos de la PPNA de los pastizales de Corrientes son dependientes de la escala temporal considerada en el análisis. La estacionalidad de la producción está determinada por la marcha de la temperatura media, mientras que las diferencias en la productividad interanual están descritas por las precipitaciones estivales.

La temperatura media determina la variación estacional de la PPNA, aunque esta relación se pierde cuando se superan los 23 °C, independientemente del mes en cuestión. Durante los meses más cálidos la PPNA depende de las precipitaciones actuales. En PCO las precipitaciones del mes anterior también influyen en la PPNA del mes en análisis. Es así que una vez que se supera la restricción por temperatura, las precipitaciones controlan las variaciones en la PPNA.

Cuando se analizan las variaciones interanuales queda en evidencia el mayor peso relativo de las precipitaciones estivales en la determinación de la PPNA. O sea que las variaciones en la producción total anual están determinadas por la ocurrencia de precipitaciones en los meses estivales.

La temperatura actuaría de dos maneras en la variación interanual de la PPNA: por el control directo sobre las tasas de crecimiento de los pastizales cuando esta es inferior a los 23 °C, y en los meses de mayores temperaturas

medias por su efecto sobre la EP y consecuentemente sobre el balance de agua útil.

La mayor limitante de la PPNA en la región es el desfasaje entre el período de mayores precipitaciones y el de altas temperaturas. Es probable que de no existir limitantes en el agua útil, la relación con la temperatura media sería positiva y consistente en todo su rango.

Si bien algunos de los mecanismos de control de la PPNA aquí descritos son conocidos en la región, se pudo cuantificar las relaciones entre la variabilidad climática y la variabilidad de la PPNA. La importancia de este trabajo radica en acotar la incertidumbre inherente a la complejidad del sistema de producción, y cuantificar de alguna manera estos procesos. Asimismo el mayor conocimiento de las interacciones clima-suelo son de importancia multidisciplinaria y dan valor agregado a la región.

Queda por determinar como se relacionan los cambios en la PPNA con la productividad secundaria. Los planteos ganaderos actuales se basan en la utilización de los excedentes estivales como forraje diferido a otras estaciones, y por lo tanto dependen indirectamente de la ocurrencia de precipitaciones en dichos meses. De este modo es posible determinar al finalizar el verano climático (fines de Febrero) la disponibilidad de forraje en el invierno, como consecuencia de la producción estival.

## BIBLIOGRAFÍA

- Altesor, A., Oesterheld, M., Leoni, E., Lezama, F. y Rodríguez, C. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. *Plant Ecology*. 179. 83- 91
- Azcón- Bieto, J., Fleco, J., Aranda, X., Xambó, A. 2000. Fotosíntesis en un ambiente cambiante. Azcón- Bieto, J. y Talón, M (ed.) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Ed. Mc Graw- Hill/ Interamericana de España, S.A.V. Madrid, España. 212-213
- Begon, M.J., Harper, L. y Townsend, C.R. 1986. *Ecology: individuals, populations and communities*. Sinauer, Sunderland, M.A. USA
- Benítez, C.A. y Fernández, J. G. 1977. Especies forrajeras de la pradera natural. Fenología y respuesta a la frecuencia y severidad de corte. Serie Técnica N° 10. EEA INTA Mercedes, Corrientes
- Bissio, J.C. 1996. Curva de producción del pastizal de cola de zorro, pasto horqueta y pasto macho. Publicación para extensión N° 59. EEA INTA Reconquista
- Briske, D.P. y Heischmidt, R.K. 1993. An ecological perspective. En: R. K. Heischmidt y J.W. Stuck (ed.). *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Timber Press inc. Hong Kong. 14-15
- Campbell, B.D. y Stafford Smith, D.M. 2000. A synthesis of recent global change research on pasture and rangeland production: reduced uncertainties and their management implications. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 82: 39- 55
- Carnevali, R. 1994. *Fitogeografía de la Provincia de Corrientes*. Gobierno de la Provincia de Corrientes- INTA: 18-23
- Chapman, D.F., Clark, D.A., Land, C.A. y Deymock, N. 1984. Leaf and tiller or stolon death of *Lolium perenne*, *Agrostis* sp. and *Trifolium repens* in set-stocked and rotationally grazed hill pastures. *NZJ. Agricultural Research*. 27: 303- 312
- Censo Nacional Agropecuario, 2002
- Dalgleish, H.J. y Hartnett, D.C. 2006. Below- ground bud banks increase along a precipitation gradient of the North American Great Plains: a test of the meristem limitation hypothesis. *New Phytologist*. 171: 81- 89
- Deregibus, V.A., Jacobo, E. y Rodríguez, A. 1995. Improvement in rangeland condition of the Flooding Pampa of Argentina through controlled grazing. *Afr. J. Range For. Sci.* 12 (2): 92-96
- Doorenbos, J. y Pruitt, W. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO, Riego y Drenaje N° 24. 194

- Epstein, H.E., Lauenroth, W.K., y Burke, I.C. 1997. Effects of temperature and soil texture on ANPP in the US Great Plains. *Ecology*. 78: 2628-2631
- Gándara, F.R., Casco, J.F., Goldfarb, M.C., Correa, M. y Aranda, M. 1989. Evaluación agronómica de pastizales en la Región Occidental de Corrientes (Argentina). I. Sitio malezales. *Revista Argentina de Producción Animal*. 9(1): 31-32
- Gándara, F.R., Casco, J.F., Goldfarb, M.C. y Correa, M. 1990a. Evaluación agronómica de pastizales en la Región Occidental de Corrientes (Argentina) III. Sitio Corrientes. *Revista Argentina de Producción Animal*, 10(1): 22-23
- Gándara, F.R., Casco, J.F., Goldfarb, M.C. y Correa, M. 1990b. Evaluación agronómica de pastizales en la Región Occidental Corrientes (Argentina). II Sitio Chavarría. *Revista Argentina de Producción Animal*. 10 (1): 21-22
- Grace, J., San José, J., Meir, P., Miranda, H.S. y Montes, R.A. 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography*. 33: 387-400
- Han, D., Kiely P.O. y Sun, D.W. 2003. Application of Water-Stress Models to estimate the Herbage Dry Matter Yield of a Permanent Grassland Pasture Sward Regrowth. *Biosystems Engineering*. 84 (1): 101-111
- Heitschmidt, R.K. y Vermiere, L.T. 2006. Can abundant summer precipitation counter losses in herbage production caused by spring drought?. *Rangeland Ecology and Management*. 59 (4): 392- 399
- Humphreys, L.R. 1978. Tropical pastures and fodder crops. Longman Group Ltd. (ed.). Essex, Gran Bretaña. 7-8
- Huxman, T.E., Wilcox, B.P., Breshears, D.D., Scott, R.L., Snyder, K.A., Small, E.E., Hultine, K., Pockman, W.T. y Jackson, R.B. 2005. Ecohydrological implications of woody plant encroachment. *Ecology*. 86 (2): 308- 319
- Huxman, T.E., Smith, M.D., Fay, P., Knapp, A., Shaw, R., Loik, M.E., Smith, S., Tissue, D., Zak, J.C., Weltzin, J., Pockman, W., Sala, O.E., Haddad, B., Harte, J., Koch, G., Schwinning, S., Small, E. y Williams, D.G. 2004. Convergence across biomes to a common rain use efficiency. *Nature*. 429: 651- 654
- Jobbágy, E.G. y Sala, O.E. 2000. Controls of Grass and Shrub aboveground production in the Patagonian steppe. *Ecological Applications*, 10(2):541- 549
- Lauenroth W.K. y Sala O.E. 1992. Long-term forage production of North American shortgrass steppe. *Ecological Applications* 2:397-403
- Le Houérou, H.N., Bingham, R.L. y Skerbek, W. 1988. Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands. *Journal of Arid Environments*. 15: 1-18
- Lewis, J.K. 1969. Primary producers in grasslands ecosystems. In G.M. Van Dejne (ed.). *The ecosystems concept in natural resources management*. Academic Press, New York. 91 - 187

- Lopez, M.V., Arias Mañotti, A.A., Pace, G.J., Casco, J.F., Goldfarb, M.C. y Gimenez, L., 2001. Programa para simular el rendimiento de materia seca de pastizales de la región noroeste de la provincia de Corrientes mediante variables climáticas. *Revista Argentina de Producción Animal*. 21(1): 88-89
- Mc Naughton, S.J., Oesterheld, M., Frank, D.A. y Williams, K.J. 1989. Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature*. 341: 142-144
- Mufarrege, D., Somma de Feré, G., Benítez, C., Fernández, J., Saucedo de Cañete, B., Barrios, E. y Pizzio, R. 1991. Caracterización de especies forrajeras y pasturas naturales por su composición química y digestibilidad. *Serie Técnica*. INTA EEA Mercedes, Corrientes
- Murphy, A. H. 1970. Predicted forage yields based on fall precipitation in California annual grasslands. *Journal of Range Management*. 23: 363- 365
- Nippert, J.B., Knapp, A.K., Briggs, J.M. 2006. Intra- annual rainfall variability and grassland productivity: can the past predict the future? *Plant Ecology*. 184: 65-74
- Oesterheld, M., Sala O.E. y Mc Naughton S.J. 1992. Effect of animal husbandry on herbivore- carrying capacity at a regional scale. *Nature*. 356: 234-236
- Oesterheld, M, Loreti, J., Semmartin, M. y Sala, O.E. 2001. Interannual variation in primary production of a semi-arid grassland related to previous year production. *Journal of Vegetation Science*. 12: 137- 142
- Parsons, A.J., Leafe, E.L., Collett, B., Penning, P.D. y Lewis, J. 1983. The physiology of grass production under grazing. II. Photosynthesis, crop growth and animal intake of continuously grazed swards. *Journal of Applied Ecology*. 20: 127- 139
- Pizzio, R.M., Royo Pallares, O., Fernández, J.G. y Benítez, C.A. 2001. Tasa de crecimiento y Producción anual de tres Pastizales del centro de la Provincia de Corrientes. 1° Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. 5° Jornada Regional. 9 al 11 de Agosto, San Cristóbal, Santa Fé. 49
- Pizzio, R.M. 2001. Caracterización y uso del recurso forrajero de la unidad experimental de cría vacuna de la EEA Mercedes. *Día de Campo: 10 años, Unidad Experimental de Cría Vacuna (1990- 2000)*. 6- 13
- Primavesi, A. 1999. Manejo ecológico das pastagens em regiões tropicais e subtropicais. Nobel ed. Sao Paulo, Brasil. 151-152
- Purnell, M. F. y Hein N. E. 1969. Los suelos de la estación agropecuaria Mercedes, Provincia de Corrientes. *Serie técnica N° 6*. INTA Concepción del Uruguay.
- Trasmonte, D. 2001. Producción y aprovechamiento del forraje en la zona Oeste Arenoso de AACREA. *Cuaderno de actualización técnica CREA N° 64: Invernada*. 45- 61

- Sala, O.E., Parton, W.J., Joyce, L.A. y Lauenroth, W.K. 1988. Primary production of the Central Grassland Region of the United States. *Ecology*, 69 (1): 40-45
- Sampedro, D. H. 1998. Sistemas pecuarios de la zona Campos de Argentina: Tecnología y Perspectivas. Anales: XIV Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical. Grupo Campos. Serie técnica N° 24. 11-19 Montevideo, Uruguay
- Scarnecchia, D.L. 1990. Concepts of carrying capacity and substitution ratios: a system viewpoint. *Journal of Range Management*. 43: 553- 555
- Smoliak, S. 1986. Influence of Climatic Conditions on Production of *Stipa Bouteloua* Prairie over a 50- year Period. *Journal of Range Management* 39 (2): 100-103
- Sneva, F.A. 1977. Correlations of Precipitation and Temperature with Spring, Regrowth, and Mature Crested Wheatgrass Yield. *Journal of Range Management*. 30(4): 270-275
- Sinclair, T.R., Mislevy, P. y Ray, J.D. 2001. Short photoperiod inhibits winter growth of subtropical grasses. *Planta*. 213: 488- 491
- Wiegand, T., Snyman, H.A., Kellner, K. y Paruelo, J.M. 2004. Do grasslands have a memory: modeling phytomass production of a semiarid South African grassland. *Ecosystems*. 7: 243- 258