

**VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PRODUCTIVIDAD  
DE MALLINES PATAGÓNICOS**

GUSTAVO GABRIEL BUONO

INGENIERO AGRÓNOMO  
1992 Universidad Nacional de Lomas De Zamora

Magister de la Universidad de Buenos Aires, área Recursos Naturales

Escuela para Graduados Alberto Soriano  
Convenio Facultad de Agronomía - UBA  
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

**COMITÉ CONSEJERO**

CONSEJERO PRINCIPAL

Martín Oesterheld  
Ingeniero Agrónomo  
Ph. D.

CONSEJERO

José María Paruelo  
Ingeniero Agrónomo  
M. Sc. Ph. D.

## **JURADO DE TESIS**

Martín Roberto Aguiar  
Ingeniero Agrónomo  
M. Sc. Ph. D.

Marta Beatriz Collantes  
Ingeniero Agrónomo  
M. Sc. Ph. D.

Martín Oesterheld  
Ingeniero Agrónomo  
Ph. D.

Fecha de aprobación de la tesis: 19 de Diciembre de 2007

## DEDICATORIA

A Joaquina y Lautaro, por alumbrar mi camino  
A Laura, por acompañarme  
A mis viejos, por dejarme andar

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo llevó su tiempo, demasiado quizás. Mucha gente colaboró en forma directa o indirecta para que pueda terminarlo.

Viajes, trabajo de campo y de gabinete implica la colaboración de personal administrativo, de apoyo y técnico que sólo es reconocido cuando falta. Muchas gracias a la gente del taller y la administración de la EEA CHUBUT y al personal del Campo Experimental Río Mayo.

También la conducción puede y sabe hacerse notar. Gracias por la confianza y la paciencia a los "jefes" Raúl, Rubén, Andrés, Jorge y Juan.

En los viajes y estadía en el campo Villa, Ricardo, Andrés y tantos otros me acompañaron y me dieron una gran mano, muchas gracias a todos.

Separando el pastito, haciendo lugar en el freezer y la estufa, gracias Sandra. También por la colaboración desde el Laboratorio de Suelos junto a Yumi y Jorge. Gracias a los tres.

Y después del campo y los cortes vinieron las imágenes... gracias a los chicos del IFEVA y el LART por el asesoramiento, la capacitación, las imágenes, etc. (fueron muchos y no recuerdo todos los nombres, gracias a todos), y a Néstor, Erica y Santiago por el trabajo y el aguante en el Laboratorio de Teledetección en Trelew.

Y la lista no termina, hay muchísima gente más a la que tengo que agradecer (y seguramente me olvide de varios):

A la familia Ayling, del Establecimiento Media Luna, y a C. Fernández, del Establecimiento Futaleufú, por permitirme el acceso a sus mallines.

A Martín, por "ver" este proyecto, aceptar la dirección a la distancia, y por las observaciones, sugerencias y fundamentalmente la paciencia en todos estos años.

A José, por el acompañamiento y la presencia cada vez que necesité su asesoramiento.

A Nico, por la ayuda y las charlas tanto en el campo como en la oficina, y por la amistad de tantos años.

A Virginia, por traer muchas preguntas y algunas respuestas, por el empujón final y el aguante permanente.

A Adriana y Rubén, por compartir la oficina y el trabajo y ponerle orden a ambas cosas.

A Viviana, que le puedo decir... Ella me aceptó y aguantó como becario. Me dijo qué y cómo hacer, me dejó cometer errores y me enseñó a corregirlos (cosa que no aprendí del todo!). Gran parte de este trabajo fue su idea y obra, muchísimas gracias Vivi por todo!!!!

Por último... En medio de la tormenta encontrar una mano amiga reconforta el espíritu. Hace un tiempo atrás encontré muchas manos tendidas, unas eran conocidas y otras no tanto, muchas fueron imprevistas, todas desinteresadas. No me alcanzan las palabras para agradecer todo el apoyo recibido, muchas gracias a todos!!!!

Gustavo

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
DECLARACIÓN .....	x
ABREVIATURAS .....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
Capítulo 1 .....	1
Presentación general .....	1
Introducción .....	2
Objetivos .....	3
Organización general de la tesis .....	3
Capítulo 2 .....	4
Descripción de los mallines y ajustes metodológicos .....	4
Introducción .....	5
Materiales y métodos .....	6
Descripción de los sitios de estudio .....	6
Evaluación de métodos de determinación de biomasa .....	8
Evaluación de métodos de cálculo de la PPNA .....	10
Resultados .....	11
Descripción de los sitios de estudio .....	11
Evaluación de métodos de determinación de biomasa .....	15
Evaluación de métodos de cálculo de la PPNA .....	19
Discusión .....	21
Descripción de los sitios de estudio .....	21
Evaluación de métodos de determinación de biomasa .....	22
Evaluación de métodos de cálculo de la PPNA .....	23
Conclusiones .....	24
Capítulo 3 .....	25
Productividad primaria de mallines: variación espacial y temporal .....	25
Introducción .....	26
Materiales y métodos .....	27
Resultados .....	28
Discusión .....	30
Conclusiones .....	34
Capítulo 4 .....	35
Relación entre el índice verde y la productividad primaria .....	35
de mallines. Su aplicación para evaluar variación estacional. ....	35
Introducción .....	36
Materiales y métodos .....	36
Resultados .....	38
Discusión .....	42
Conclusiones .....	44
Capítulo 5 .....	45
Conclusiones generales .....	45
Principales resultados .....	46
Discusión general .....	46
Bibliografía .....	49
Apéndice .....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 2.1: Ubicación, fecha de muestreo y método de determinación de la biomasa en los mallines estudiados (E: estimación por método de rendimiento comparativo, C: corte).
- Tabla 2.2: Índices de similitud entre sectores del mallín, calculados a partir de la composición florística relativa de los sectores de los diferentes mallines.
- Tabla 2.3: Composición florística de los sectores de mallín. Valores expresados en % de cobertura por sector.
- Tabla 2.4: Índices de similitud de los sectores entre diferentes mallines, calculados a partir de la composición florística relativa de los sectores de los diferentes mallines.
- Tabla 2.5: Propiedades químicas de los suelos de mallín.
- Tabla 2.6: Parámetros de los modelos de regresión lineal ( $\text{Biomasa Observada} = a + b * \text{Biomasa predicha}$ ) y sus correspondientes errores estándar obtenidos a partir de los modelos de ajuste que relacionaron la biomasa estimada con la cosechada en cada fecha de muestreo para cada fracción vegetal.
- Tabla 2.7: Coeficientes de correlación de Pearson (debajo de la diagonal) y sus correspondientes probabilidades (sobre la diagonal) de los valores de PPNA obtenidos mediante los diferentes métodos.
- Tabla 2.8: Parámetros de los modelos de regresión lineal ( $\text{PPNA}_{\text{Método } x} = a + b * \text{PPNA}_{\text{Método } 1}$ ) y sus correspondientes errores estándar y probabilidades obtenidos para cada método de cálculo de la PPNA respecto del método 1.
- Tabla 3.1: Resultados del análisis de varianza de la PPNA de los sectores del mallín para cada mallín y temporada de crecimiento. Valores de F y nivel de probabilidad. Los subíndices de F corresponden a los grados de libertad del error.
- Tabla 3.2: Valores de PPNA, precipitaciones y variación interanual para diferentes tipos de pastizales [valores promedio (desvío estándar), excepto en \* que es error estándar]. CV: coeficiente de variación de la media; N: años que abarca el CV de PPNA; PMA: precipitación media anual; sd: Sin datos disponibles.
- Tabla 4.1: Resultado del análisis de la varianza multivariado de la interacción tiempo\*sector de mallín y de los efectos individuales. Valor del estadístico de Wilks, F equivalente, grados de libertad (gl) del numerador (num) y del denominador (den) y su probabilidad.
- Tabla 4.2: Resultados de los análisis de varianza de los contrastes entre fechas sucesivas. Sector evalúa la diferencia entre sectores en cada contraste.
- Apéndice 1: Parámetros de los modelos de regresión lineal ( $\text{biomasa} = a + b * \text{estimación}$ ) por fecha de muestreo y fracción vegetal correspondientes a los diferentes mallines.

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1: Ubicación de los sitios de estudio en las diferentes áreas agroecológicas de Chubut (Mapa elaborado a partir de León et al. 1998 por el Laboratorio de Teledetección y SIG de la EEA Chubut de INTA). Las figuras representan los diferentes sitios (cuadrado: Media Luna, círculo: El Tacho, triángulo: Facundo y rombo: El Trébol).
- Figura 2.2: Biomasa media estimada para cada sector del mallín (en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) por fracción vegetal: a) Biomasa Verde, b) Biomasa Total. Las barras representan los intervalos de confianza (95%) calculados a partir de la variabilidad de los modelos de regresión. Datos correspondientes al muestreo del 22/12/97 en el mallín El Tacho.
- Figura 2.3: Rectas de ajuste de los valores observados vs. los valores predichos por los modelos de cada mallín en cada fecha (Biomasa Observada= $a+b$ \*Biomasa predicha; línea cortada) para cada fracción vegetal: a) Biomasa Verde, b) Biomasa Seca y c) Biomasa Total. Los parámetros de cada recta figuran en la Tabla 2.6. La línea llena representa la relación 1:1.
- Figura 2.4: Biomasa media estimada para cada fracción vegetal (en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Las barras representan los intervalos de confianza (95%) calculados a partir de la variabilidad de los modelos de regresión presentados en la tabla 2.6.
- Figura 2.5: Biomasa media estimada (en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) para cada sector de mallín y fracción vegetal: a) Biomasa Verde y b) Biomasa Total. En Media Luna y Facundo la biomasa fue estimada mediante cortes los días 21 y 19/12/1997 respectivamente, en El Tacho mediante el método del rendimiento comparativo el 22/12/1997. Las barras representan el desvío estándar de la media.
- Figura 2.6: Valores de PPNA (en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ) calculada a través de los cuatro métodos analizados. Los rombos indican la media de los cuatro mallines, las barras representan el error estándar de la media ( $n=48$ ). Descripción de los métodos en el texto.
- Figura 2.7: Valores de PPNA (en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ) promedio por mallín calculada a través de los cuatro métodos analizados. Las barras representan el error estándar de la media ( $n= 15; 9; 12$  y  $12$  para El Tacho, M. Luna, El Trébol y Facundo respectivamente). Descripción de los métodos en el texto.
- Figura 2.8: Valores de PPNA (en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ) promedio por sector de mallín calculada a través de los cuatro métodos. Las barras representan el error estándar de la media ( $n=16$ ). Descripción de los métodos en el texto.
- Figura 2.9: Gráfico de cajas (Box Plot) de la relación porcentual de los valores de PPNA obtenidos mediante los métodos 2, 3 y 4 respecto del método 1 por sector de mallín.
- Figura 3.1: Valores de PPNA (expresada en  $\text{t MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ) por temporada de crecimiento y sector de mallín: a) Mallín Media Luna, b) Mallín El trébol, c) Mallín Facundo y d) Mallín El Tacho. Diferentes letras en cada temporada de crecimiento indican diferencias significativas entre sectores ( $p<0,05$ ). Las barras verticales representan el desvío estándar



espacial (en cada temporada de crecimiento) o temporal (en promedio interanual).

- Figura 3.2: Variación interanual de la PPNA de los sectores de los mallines evaluados expresada a partir del coeficiente de variación de la media. Las figuras representan los mallines (rombo: Media Luna, cuadrado: El Trébol, triángulo: Facundo y círculo: El Tacho) y los colores los sectores de mallín (negro: húmedo, gris: subhúmedo y blanco: periferia).
- Figura 4.1: Relación entre el índice verde normalizado (IVN) y la productividad (PPNA) estimada a partir del pico de biomasa total por sector del mallín. La línea punteada corresponde al ajuste exponencial ( $PPNA=54,12 \cdot e^{2,96 \cdot IVN}$ ) realizada utilizando todos los puntos ( $r^2=0,53$ ,  $p=0,10$ ,  $n=6$ ). La línea entera corresponde al ajuste lineal ( $PPNA = -65 + 592,9 \cdot IVN$ ) obtenido excluyendo el valor correspondiente al sector húmedo en la temporada de crecimiento 1998/99 ( $r^2=0,96$ ,  $p<0,01$ ,  $n=5$ ). Las figuras representan sectores de mallín (rombo: húmedo, círculo: subhúmedo, triángulo: periferia) y los colores temporadas de crecimiento (negro: 1997/98, blanco: 1998/99). Valores de IVN medio por sector de mallín extraídos de las imágenes de diciembre de 1997 y enero de 1999.
- Figura 4.2: Relación entre el índice verde normalizado (IVN) y la productividad (PPNA) estimada a partir del pico de biomasa viva por sector del mallín. La línea representa al ajuste lineal ( $PPNA= -60 + 373,9 \cdot IVN$ ;  $r^2=0,76$ ,  $p=0,05$ ,  $n=5$ ) obtenido excluyendo el valor correspondiente al sector húmedo en la temporada de crecimiento 1998/99. Las figuras representan sectores de mallín (rombo: húmedo, círculo: subhúmedo, triángulo: periferia) y los colores temporadas de crecimiento (negro: 1997/98, blanco: 1998/99). Valores de IVN medio por sector de mallín extraídos de las imágenes de diciembre de 1997 y enero de 1999.
- Figura 4.3: Índice verde medio por sector del mallín durante la temporada de crecimiento 1998/99. Las barras representan su desvío estándar ( $n=6$ ; 5 y 6 para los sectores húmedo, subhúmedo y periférico respectivamente).
- Figura 4.4: Dinámica de la biomasa viva por sector del mallín El Tacho durante la temporada de crecimiento 1998/99.

## DECLARACIÓN

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

## ABREVIATURAS

PPNA: productividad primaria neta aérea  
IVN: índice verde normalizado  
fPAR: fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por el canopy  
EEA: Estación Experimental Agropecuaria  
INTA: Instituto nacional de Tecnología Agropecuaria  
pH: potencial hidrógeno  
Na: sodio  
Ca: calcio  
Mg: magnesio  
EDTA: Ácido Etileno Diamino Tetracético  
 $r^2$ : coeficiente de regresión  
vs.: versus  
MS: materia seca  
gl: grados de libertad  
F: relación entre el cuadrado medio del tratamiento y el cuadrado medio del error  
p: probabilidad  
CV: coeficiente de variación  
APAR: radiación fotosintéticamente activa absorbida  
PAR: radiación fotosintéticamente activa  
PPN: productividad primaria neta

## RESUMEN

### Variación espacial y temporal de la productividad de mallines patagónicos

En regiones áridas y semiáridas, como la Patagonia extra andina, los pastizales naturales son el sustento de herbívoros silvestres y domésticos. En esta región existen ambientes azonales denominados mallines, que presentan una disponibilidad de agua y vegetación diferentes a los ambientes circundantes. Presentan un gradiente de disponibilidad de agua desde el centro hacia la periferia y concentran del 20 al 50% de la producción de los pastizales patagónicos en 4% de la superficie. Esta tesis plantea como objetivos describir la variación espacial y temporal de la productividad primaria neta aérea (PPNA) de los mallines y obtener un modelo específico para la relación entre el índice verde normalizado (IVN), obtenido a partir de imágenes satelitales LANDSAT TM, y la PPNA de estos ambientes. Para cumplir el primer objetivo se utilizaron determinaciones a campo de PPNA en 4 mallines. Para el segundo, se usaron valores de dos años de PPNA e IVN de un sitio. Los resultados mostraron diferencias florísticas y de PPNA entre mallines y sectores dentro del mallín, en el sentido de un gradiente de PPNA del centro a la periferia. La variabilidad temporal de la PPNA fue mayor que la de ambientes similares en el resto del mundo, pero semejante a la de pastizales con similar régimen de lluvias. El IVN mostró una dinámica estacional contrastante entre sectores del mallín, semejante a la observada con valores de biomasa. Además resultó un buen estimador de la variación espacial y temporal de la PPNA mediante un modelo sencillo. Mayores estudios que relacionen la disponibilidad de recursos y condiciones climáticas permitirían definir los factores que controlan la PPNA y estrategias de utilización sustentables. Mientras tanto los resultados sugieren que se delimiten y manejen diferencialmente los sectores del mallín y se estime periódicamente su PPNA a nivel predial mediante sensores remotos para evaluar la capacidad forrajera.

Palabras clave: Patagonia; mallines; PPNA; variación espacial; variación temporal; relación PPNA/IVN

## ABSTRACT

### Spatial and temporal variation of the productivity of Patagonian meadows

In arid and semiarid regions, natural grasslands are the principal food resource for wild and domestic herbivores. In these regions, meadows play an important role due to their higher water availability than the surrounding areas and their singular plant species composition. Meadows account for 20 to 50% of the total production of Patagonian grasslands and steppes with only 4% of the surface. Within meadows, water availability gradually decreases from the center to the periphery. The main objective of this study is to describe the spatial and temporal variation of Aboveground Net Primary Production (ANPP) of these meadows and to elaborate a specific model to relate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), obtained from LANDSAT TM satellite images, with ANPP. For the first part of the study, field estimates of biomass and ANPP from 4 meadows were utilized. For the second part, a two year ANPP and NDVI record for a single site was used. The results showed floristic and ANPP differences among meadows and sectors within meadows conforming a productivity gradient from the center to the periphery. The temporal variability of ANPP was higher than in similar sites around the world, but it was comparable to grasslands with similar rain regime. NDVI showed a contrasting seasonal dynamic between sectors inside the meadows, which was comparable with biomass values. In addition, it resulted in a good estimator of ANPP spatial and temporal variation in a simple model. More studies relating resource availability and climatic conditions could define the factors controlling ANPP and suggest sustainable strategies of utilization. At this point, the results suggest that the sectors of the meadows must be delimited and differentially managed. Also, ANPP should be routinely estimated at the paddock level by remote sensors to evaluate the herbivore capacity.

Key words: Patagonia; meadows; PPNA; spatial variation; temporal variation; PPNA/NDVI relationship.

## **Capítulo 1**

### **Presentación general**

## **Introducción**

En regiones áridas y semiáridas los pastizales naturales son el sustento de herbívoros silvestres y domésticos. La región patagónica extra andina no es una excepción. Esta región ocupa unos 780.000 km<sup>2</sup>, presenta un clima templado frío, un rango de precipitaciones de 125 a 400 mm anuales y una estepa arbustiva como fisonomía predominante (Paruelo et al. 1998, León et al. 1998). La ganadería ovina extensiva es la actividad más importante en la región, acompañada por la ganadería bovina en las áreas con mayores precipitaciones. Los cuadros o divisiones internas de los establecimientos agropecuarios son de gran superficie (2500 ha), incluyen diferentes tipos de pastizales, son utilizados con pastoreo continuo todo el año y la decisión más importante de manejo es la asignación de cargas, que se realiza por lo general en forma subjetiva a partir de datos históricos (Golluscio et al. 1998). La distribución del pastoreo no es homogénea, por lo que se observan situaciones de sobre y subpastoreo a diferentes escalas: dentro y entre comunidades en cada cuadro, entre cuadros de un mismo establecimiento y entre establecimientos ganaderos (Borrelli 2001).

Dispersas en la Patagonia existen áreas de carácter azonal denominadas mallines o vegas que exhiben mayor disponibilidad de agua y vegetación muy diferente a la de áreas circundantes (Soriano 1956, Boelcke 1957). Su vegetación constituye una parte importante de la dieta de los ovinos que pastorean en cuadros que contienen "pampa" (estepas arbustivas) y mallín (Bonino et al. 1985) y la proporción de superficie con mallín está fuertemente relacionada con la carga animal de los cuadros (Paruelo y Golluscio 1994). En el segmento oeste de la estepa patagónica, los mallines ocupan alrededor del 3% de la superficie y contribuyen con más del 12% de la productividad total del área (Paruelo et al. 2004). Sin embargo, un gran porcentaje de los mallines presentan altos niveles de degradación (Ayesa et al. 1999) debido principalmente al sobrepastoreo.

La productividad de un pastizal resulta de la interacción entre el ambiente y la vegetación y refleja los patrones de variación espacial y temporal de los factores ambientales. La precipitación y la productividad están linealmente relacionadas a escala regional (Sala et al. 1988) y temporal (Lahuenroth y Sala 1992, Smoliak 1986, Paruelo et al. 1999b). A escala local la productividad está asociada con propiedades edáficas u otros factores, como por ej. materia orgánica del suelo, régimen de inundación, etc. (Venterink et al. 2001, Burke et al. 1999, Megonigal y Day 1992, Whigham et al. 2002). Al igual que para las precipitaciones (Knapp y Smith 2001), la variación interanual relativa de la productividad es mayor cuanto menor es la productividad media (Oesterheld et al. 1998, 1999; Paruelo et al. 1999a).

Existen numerosas metodologías para estimar la productividad de los pastizales, desde métodos tradicionales basados en cosechas de biomasa hasta estimaciones basadas en sensores remotos. Por otra parte las metodologías de cálculo aplicadas a los datos de cortes de biomasa pueden originar distintos valores de producción a partir del mismo conjunto de datos (Singh et al. 1975, Scurlock et al. 2002). Sala y Austin (2000) señalan que los objetivos del estudio y las características del ecosistema determinarán el método más apropiado de estimación de la productividad. Un estimador de la PPNA muy difundido es el índice verde normalizado (IVN), resultante de la combinación de las bandas espectrales roja e infrarroja captadas por sensores a bordo de satélites (Paruelo et al. 1997, 2000a). El IVN es un estimador de la fracción de la radiación

fotosintéticamente activa absorbida por el canopy (fPAR). Monteith (1972) muestra que fPAR es, junto a la eficiencia en el uso de la radiación el principal determinante de la PPNA.

La PPNA es una de las principales determinantes de la carga animal que puede sostener un pastizal (Oosterheld et al. 1992) y el conocimiento de su dinámica es necesario para diseñar sistemas de producción eficientes (Paruelo et al. 1999a). En el caso de los mallines, debido a su deterioro generalizado, a su importancia para los sistemas ganaderos patagónicos (Ayesa et al. 1999) y a su función como prestadores de servicios a los ecosistemas, es imprescindible diseñar estrategias de utilización y manejo que garanticen su sustentabilidad.

El presente trabajo pretende llenar parte del vacío de información respecto de los mallines patagónicos, lo cual contribuirá al desarrollo de estrategias de manejo sustentables. En este sentido se estudiaron dos aspectos clave para el manejo de los pastizales: en primer lugar, la productividad primaria neta aérea y su variación espacial y temporal. En segundo lugar se buscó ajustar y evaluar metodologías para facilitar su estimación en estos ambientes. Además se describen diferentes aspectos de los mallines que resaltan su importancia para la región y sirven de base para futuros estudios.

### **Objetivos**

- \* Describir la variación espacial y temporal de la producción vegetal de los mallines
- \* Obtener un modelo específico para los mallines patagónicos para la relación entre el IVN y la PPNA.

### **Organización general de la tesis**

La tesis sigue con cuatro capítulos después de este introductorio. En el capítulo 2 (Descripción de los mallines y ajustes metodológicos) se describen los mallines en estudio desde el punto de vista florístico y edáfico. Además se evalúan los métodos de determinación de biomasa utilizados en los diferentes sitios. También se evalúan diferentes alternativas o métodos de cálculo de la PPNA para los mallines. Los resultados de este capítulo constituyen el insumo para el trabajo de los dos siguientes.

El capítulo 3 (Productividad primaria de mallines: variación espacial y temporal) cumple con el primer objetivo de la tesis. En este capítulo se describe y compara la variación de la producción vegetal de los diferentes sectores de mallín. Se trabaja sobre la base de lo realizado en el capítulo anterior y parte de sus resultados se utiliza en el siguiente.

En el capítulo 4 (Relación entre el índice verde y la productividad primaria de mallines. Su aplicación para evaluar variación estacional) se aborda el segundo objetivo de la tesis a partir de los resultados obtenidos en los capítulos previos y la adición del trabajo con imágenes satelitales. En este capítulo se trabaja en la obtención de un modelo de ajuste para la relación PPNA e IVN para mallines. Además se compara la dinámica del IVN en los diferentes sectores de mallín durante una temporada de crecimiento. Finalmente, en el capítulo 5 (Conclusiones generales) se sintetizan e integran los resultados obtenidos en los capítulos previos.



## Capítulo 2

### Descripción de los mallines y ajustes metodológicos

## **Introducción**

Los mallines presentan un gradiente de disponibilidad de agua desde la zona central, próxima a un cauce de agua, hacia la periferia (Boelcke 1957, Burgos et al. 1996, Cremona et al. 1996, Lanciotti et al. 1998). El centro presenta exceso de humedad durante el invierno y principios de primavera, suelos con alto contenido de materia orgánica, y vegetación dominada por ciperáceas y juncáceas. La periferia sufre déficit de humedad en el verano, presenta suelos con menor contenido de materia orgánica, y vegetación generalmente dominada por *Festuca pallezensis*, la especie dominante de la estepa del distrito subandino (Bonvissuto y Somlo 1998, Bonvissuto et al. 1992).

A pesar de la gran relevancia de la productividad primaria neta aérea (PPNA) en los sistemas ganaderos, son pocos los datos disponibles. Ésto se relacionaría con las dificultades metodológicas para estimarla. Para el caso específico de las estimaciones basadas en cambios temporales de la biomasa acumulada, estas dificultades se relacionan tanto con los métodos de cálculo, como con la estimación de los valores de biomasa. Diferentes métodos de cálculo de la PPNA sobre un mismo conjunto de datos pueden originar grandes diferencias en la producción estimada (Singh et al. 1975, Scurlock et al. 2002). Los métodos que contemplan la dinámica de la vegetación muerta arrojan valores entre 3 y 10 veces más altos que los que no lo hacen (Singh et al. 1975, Scurlock et al. 2002). Por lo tanto, el método de cálculo más apropiado para estimar la PPNA depende de las características del ecosistema y de los objetivos del estudio (Sala y Austin 2000).

Independientemente del método de cálculo, la confianza de los valores de PPNA depende de los valores de biomasa con los que son calculados. Para la estimación de la biomasa vegetal se dispone de diferentes técnicas, las cuales presentan ventajas y desventajas. La cosecha es el método más directo y más frecuentemente usado, pero es también altamente costoso en tiempo y esfuerzo, mientras que los métodos de estimación visual proveen estimaciones de biomasa rápidas y no destructivas, aunque de menor exactitud individual (Sala y Austin 2000, Catchpole y Wheeler 1992). Es decir, las estimaciones basadas en cosechas disminuyen la incertidumbre sobre cada valor de biomasa, pero suele ser impracticable realizar un número suficientemente alto de ellas como para disminuir la incertidumbre sobre la estimación de la biomasa promedio de un sitio y su desvío. Por contraste, las estimaciones visuales son más inciertas a nivel de muestra individual, pero permiten aceptables estimaciones a nivel poblacional. Dentro de estos últimos métodos, el del rendimiento comparativo (Tohill et al. 1992) provee una exactitud moderada y es recomendado para usar con vegetación espacialmente homogénea (Catchpole y Wheeler 1992).

Los objetivos del presente capítulo son: describir los sitios (mallines) de estudio desde el punto de vista florístico y edáfico, evaluar los métodos de determinación de biomasa utilizados y evaluar los métodos de cálculo de la PPNA. Para ello se presenta la metodología utilizada y los resultados obtenidos en la caracterización de los mallines. Además se realiza la comparación de la composición florística entre sectores dentro de cada mallín y de los sectores entre diferentes mallines.

Posteriormente se describen los procedimientos seguidos para la evaluación de la metodología utilizada en la estimación de los valores de biomasa (método del rendimiento comparativo). En primer lugar se analiza la variabilidad atribuible a los modelos de ajuste en cada fecha de muestreo. A

continuación se evalúa la variabilidad total del proceso de estimación, a partir del análisis de los valores observados y predichos en todos los modelos de ajuste. Por último se analiza la variabilidad espacial obtenida a partir de la utilización de los valores de biomasa estimados.

Finalmente se comparan diferentes métodos de cálculo de la PPNA. Para ello se observa el comportamiento de los resultados obtenidos sobre los distintos sectores y mallines. Con ello, y algunas consideraciones acerca de la dinámica de la biomasa, se selecciona el método que presentaría menos limitantes para su aplicación en los mallines.

## ***Materiales y métodos***

### **Descripción de los sitios de estudio**

Se estudiaron cuatro mallines de la provincia de Chubut (Figura 2.1 y Tabla 2.1). Un mallín (Media Luna) ubicado próximo a la localidad de Aldea Beleiro, pertenece al distrito subandino (Soriano 1956) y ocupa aproximadamente 150 ha. Otro mallín (El Tacho) atraviesa el Campo experimental Río Mayo de INTA, pertenece al distrito occidental (Soriano 1956) y presenta una superficie aproximada de 600 ha. El tercero (Facundo), ubicado próximo a la localidad de Facundo, se encuentra en el límite entre los distritos occidental y central chubutense (Soriano 1956). Este mallín ocupa alrededor de 260 ha, se encuentra próximo al río Senguer y presenta áreas con bosques en galería. Y el cuarto (El Trébol) corresponde a un sector de casi 20 ha del Mallín El Trébol, ubicado próximo a la localidad de Comodoro Rivadavia, en el distrito del Golfo San Jorge (Soriano 1956).

En cada mallín se instaló una clausura de aproximadamente 200 m<sup>2</sup>, para evitar el pastoreo, que abarcó los tres sectores que los componen: central, intermedio y periférico. Las clausuras se instalaron en octubre de 1996 en Media Luna en el Establecimiento Media Luna, en octubre de 1994 en El Tacho en el Campo experimental Río Mayo de INTA, en enero de 1995 en Facundo en el Establecimiento Futaleufú, y en septiembre de 1995 en El Trébol (Tabla 2.1). La selección de los sitios se hizo luego de una recorrida exploratoria de los mallines en la que se buscó un área representativa de una situación poco disturbada del mallín, ya que algunas zonas de los mallines presentan grandes modificaciones por diferentes causas (pastoreo, labranza, forestación, cruce de caminos o ductos, etc).

Para definir los sectores de mallín se consideró la fisonomía de la vegetación, distribución de especies y señales de movimiento del agua. Para el sector húmedo se tuvo en cuenta como indicadores la presencia de una pradera graminiforme con abundancia de *Juncus balticus* y *Eleocharis sp*, la presencia de *Trifolium repens* y *Poa pratensis*, y señales de inundación o anegamiento (restos vegetales entre matas o alambre, etc). Para el sector periférico se consideró la presencia de una estepa graminosa con presencia/abundancia de *Festuca pallescens* y sin señales de inundación o anegamiento temporario. El sector subhúmedo se definió como el sector intermedio entre los anteriores.

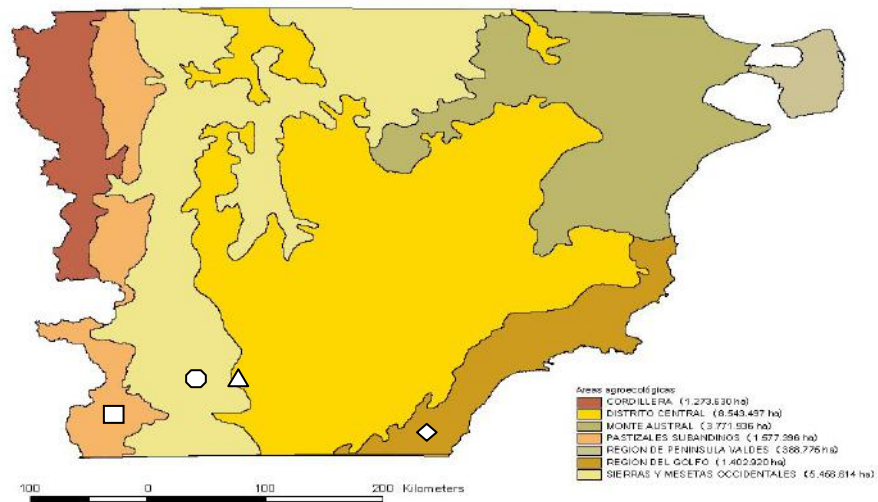


Figura 1: Ubicación de los sitios de estudio en las diferentes áreas agroecológicas de Chubut (Mapa elaborado a partir de León et al. 1998 por el Laboratorio de Teledetección y SIG de la EEA Chubut de INTA). Las figuras representan los diferentes sitios (cuadrado: Media Luna, círculo: El Tacho, triángulo: Facundo y rombo: El Trébol).

La composición florística de cada sector se determinó a través del método de puntos (Huss et al. 1986). Para ello, se utilizó como unidad de muestreo un armazón de puntos de 50 cm conteniendo 10 agujas separadas 5 cm entre sí. Se registró toda la vegetación viva tocada por la aguja en cada bajada. En caso de no registrarse vegetación viva se anotó mantillo o suelo desnudo, según correspondiera. En cada sector de mallín se realizó la lectura de 5 a 10 unidades de muestreo (armazones) al momento de instalar la clausura correspondiente. La composición florística de los sectores en cada mallín, y entre mallines, se comparó a través del índice de similitud de Bray y Curtis (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974): la sumatoria del menor valor de cada una de las especies comunes del contraste. Este índice es una simplificación de la modificación cuantitativa del índice de Sorensen.

Para caracterizar el suelo se utilizó una muestra compuesta obtenida a 0-30 y otra a 30-60 cm de profundidad en cada sector de mallín. Las submuestras se extrajeron utilizando un barreno de 7,5 cm de diámetro. Se realizaron entre 10 y 15 perforaciones por sector de mallín. Las muestras se acondicionaron y analizaron en el laboratorio de análisis agrónomicos de la EEA Chubut de INTA. Se determinaron las siguientes propiedades físicoquímicas: pH (1:2,5 en agua destilada vía potenciométrica), sales solubles totales (Conductividad Eléctrica del extracto de saturación) y porcentaje de sodio intercambiable (Na: fotometría de llama, Ca y Mg: titulación con EDTA), en todas las muestras, y materia orgánica (micrométodo de Walkey-Black), nitrógeno total (micrométodo de Kjeldahl) y fósforo disponible (Bray y Kurtz N° 1 u Olsen, según pH), para muestras de 0-30 cm de profundidad. Por problemas de muestreo no se cuenta con los resultados correspondientes al sector subhúmedo del mallín El Trébol.

Tabla 2.1: Ubicación, fecha de muestreo y método de determinación de la biomasa en los mallines estudiados (E: estimación por método de rendimiento comparativo, C: corte).

Mallín	Media Luna	El Tacho	Facundo	El Trébol
Coordenadas geográficas (latitud/longitud)	45° 36,41' S / 71° 25,74' W	45° 25,23' S / 70° 21,35' W	45° 09,99' S / 70° 00,99' W	45° 50,30' S / 67° 49,41' W
Localidad	A. Beleiro	Río Mayo	Facundo	C. Rivadavia
Área ecológica (Soriano 1956)	Subandino	Distrito Occidental	Central Chubutense	Del Golfo San Jorge
Fecha de muestreo	Método de determinación de biomasa			
Nov-94		E		
Ene-95		E		
Mar-95		E		
Abr-95		E		
Sep-95				C
Oct-95				C
Nov-95		E		C
Dic-95				C
Ene-96		E	C	C
Feb-96		E	C	C
Mar-96				C
Abr-96		E	C	
Sep-96				C
Oct-96	C	E		
Nov-96		E	C	
Dic-96	C			C
Ene-97	C	E		C
Feb-97	C	E		C
Mar-97	C	E		
Abr-97		C	C	C
May-97	C			
Nov-97		E		
Dic-97	C	E	C	
Ene-98	C	E	C	E
Feb-98	E	E	E	E
Abr-98		E		
May-98	E		E	E
Nov-98	E	E	E	E
Dic-98	E	E		E
Ene-99	E	E	E	E
Feb-99	E	E	E	E
May-99	E	E	E	

### Evaluación de métodos de determinación de biomasa

La determinación de la biomasa vegetal en cada fecha de muestreo se realizó mediante uno de los siguientes dos métodos:

Método 1) Cosecha de parcelas de 20 cm X 50 cm con tijera de mano al ras del suelo. El número de parcelas cosechadas varió entre 3 y 10 por sector, según el mallín. El material cosechado en cada momento de muestreo se conservó, almacenado en bolsas de polietileno, en freezer, hasta el momento de su procesamiento. El material cosechado se separó en dos fracciones (verde y seco), y fue secado en estufa a 60°C hasta peso constante y pesado en balanza de precisión.

Método 2) Estimación mediante el método del rendimiento comparativo (en inglés: comparative yield, Tothill et al. 1992). El método comprende varias etapas:

a) Ubicación de patrones de vegetación: se buscaron y marcaron con estacas 5 parcelas de vegetación (de 20 cm X 50 cm) que representaban la máxima y mínima biomasa vegetal, y tres situaciones intermedias. Para cada situación se ubicaba, cosechaba y determinaba el peso fresco de la vegetación en una parcela similar a la marcada, a fin de corroborar su representatividad. Estos patrones sirvieron en un primer momento de entrenamiento y a continuación de referencia en caso de que existieran dudas durante las posteriores estimaciones.

b) Estimación de la biomasa vegetal: se estimó la biomasa vegetal presente en parcelas de 20 cm X 50 cm ubicadas en los diferentes sectores del mallín mediante una escala basada en las cinco parcelas anteriormente descritas. El número de parcelas varió entre 10 y 20 por sector según el mallín.

c) Estimación y corte de parcelas de ajuste: al finalizar la estimación en cada mallín se realizó la estimación, y posterior cosecha de biomasa, de 5 parcelas por mallín. El material cosechado fue tratado en forma similar al cosechado en el método 1.

d) Determinación de materia seca de las muestras cosechadas en c).

e) Ajuste de la relación estimación/biomasa: mediante un análisis de regresión lineal, a partir de las estimaciones registradas en c) y la biomasa obtenida en d), se obtuvieron los modelos que relacionaron la biomasa real y la estimación.

f) Transformación de las estimaciones en biomasa a partir del modelo de ajuste obtenido: las estimaciones obtenidas en b) se llevaron a materia seca mediante la aplicación del modelo de ajuste obtenido en e). Estos valores de biomasa se utilizaron posteriormente para el cálculo de la PPNA de los sectores del mallín.

La asignación de estos dos métodos varió entre mallines y fechas. En el mallín El Tacho la determinación de biomasa se realizó exclusivamente con el segundo método, excepto el muestreo de abril de 1997 (Tabla 2.1). En los otros mallines se realizó mediante el método de cortes desde el inicio de las mediciones hasta los muestreos de abril de 1997 en el Trébol y enero de 1998 en Facundo y Media Luna; posteriormente se realizó a través de estimaciones mediante el segundo método (Tabla 2.1). Esta variación de métodos entre fechas y mallines no se debió a una estrategia de investigación particular sino que obedeció a limitaciones logísticas.

La confianza en los resultados del método del rendimiento comparativo surge de su calibración (etapa e, anteriormente descrita). No obstante ello, considerando su aplicación en forma conjunta con los datos provenientes del método de cortes de vegetación y la diversidad de ésta en los mallines, se evaluó su comportamiento y variabilidad inherente a partir del análisis de las estimaciones obtenidas. Para ello se calcularon los intervalos de confianza de: a) los valores medios estimados en cada sector del mallín a partir del modelo de relación estimación/biomasa cosechada en cada fecha de muestreo. Esto permitió cuantificar la variación atribuible a cada modelo en cada fecha de muestreo y observar su comportamiento entre los diferentes tipos de vegetación (sectores del mallín). b) los valores predichos (valor de biomasa predicha por el modelo de ajuste de cada fecha, para cada estimación efectuada en los cortes de control) promedio, primer y tercer cuartil, a partir de la relación entre valores observados (biomasa cosechada en los cortes de control) y predichos de todos

los modelos obtenidos para cada fracción vegetal. Esto permitió conocer la variabilidad total del proceso de estimación.

El cálculo de los intervalos de confianza de los valores estimados a partir de modelos de regresión (método 2) se realizó a partir de la siguiente ecuación (Zar 1999):

$$IC(95\%) = Y \pm t_{0.05(2), gl} * S(Y) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: Y : valor obtenido a partir de la aplicación del modelo  $Y = a + b * X$

gl : grados de libertad del parámetro estimado

S(Y) : error estándar de la estimación, calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$S(Y) = \{S_{yx}^2 * [1/N + (X - X_{\text{medio}})^2 / \sum X^2]\}^{1/2}$$

Donde  $S_{yx}^2$  : cuadrado medio del residuo del modelo de regresión,

N : número de muestras incluidas en el modelo,

X : valor objetivo [en el caso a): valor medio estimado en cada sector de mallín, en el caso b): los valores predichos promedio, primer y tercer cuartil]

$X_{\text{medio}}$  : promedio de los valores observados (x).

### Evaluación de métodos de cálculo de la PPNA

La PPNA de cada sector de mallín se determinó a partir de cuatro métodos de cálculo (extraídos y/o adaptados de Scurlock et al. 2002; Sala y Austin 2000 y Singh et al. 1975) aplicados a los valores de biomasa obtenidos por las metodologías descritas en el apartado anterior: 1) Pico de biomasa viva, 2) Pico de biomasa total, 3) Sumatoria de diferencias positivas de biomasa viva y muerta entre muestreos sucesivos y 4) Pico de biomasa verde más la sumatoria de diferencias positivas de biomasa muerta entre muestreos sucesivos.

**Método 1.-** Pico de biomasa viva: el método supone que de una temporada de crecimiento a la siguiente no hay traslado de material vivo, pero sí de material muerto y/o broza. La senescencia durante el período es insignificante.

**Método 2.-** Pico de biomasa total: el método supone que no hay traslado de material vivo ni muerto del ciclo previo. Una parte de la producción de la temporada muere, pero queda en pie y, por lo tanto, no se transforma en broza.

**Método 3.-** Sumatoria de diferencias positivas de biomasa viva y muerta entre muestreos sucesivos: al igual que el anterior supone que entre muestreos sucesivos muere parte del material vivo. Por lo tanto, lo considera parte de la producción del ciclo. A diferencia del anterior considera que una parte del material muerto puede caer de la planta y convertirse en broza. Cuando el material vivo disminuye se considera sólo el incremento de material muerto excedente, a fin de no sobreestimar la producción.

**Método 4.-** Pico de biomasa verde más la sumatoria de diferencias positivas de biomasa muerta entre muestreos sucesivos: esta adaptación mantiene los supuestos anteriores, pero solo se considera el pico de biomasa verde para compensar la falta de mediciones en el período de mínima disponibilidad de biomasa verde (invierno).

Para el cálculo del desvío estándar de la PPNA se utilizó el siguiente razonamiento: La varianza de una suma o una diferencia de medias, siendo las muestras independientes, es igual a la suma de las varianzas de dichas medias. Los muestreos secuenciales de biomasa dentro de un mismo sector de mallín se consideran independientes entre sí. Por lo tanto, la varianza de la PPNA se obtuvo mediante la sumatoria de las varianzas de las medias involucradas. El desvío estándar de la PPNA se calculó como la raíz cuadrada de la varianza.

Los diferentes métodos de cálculo de la PPNA se compararon a través de métodos estadísticos descriptivos. Para ello se trabajó con los valores agrupados en función de los mallines o sectores del mallín. Además se realizó un análisis de correlación de los valores obtenidos a través de cada método de cálculo y un análisis de regresión lineal utilizando como variable independiente el método 1 y como variables dependientes los restantes métodos de cálculo. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat versión 2004 (InfoStat 2004).

## Resultados

### Descripción de los sitios de estudio

Los sectores húmedo y periférico registraron los menores valores de similitud florística en cada mallín. Además, estos valores fueron bajos (11-45%) en todos los mallines (Tabla 2.2). La ausencia de *Festuca pallescens* en el sector húmedo y la escasa presencia de junco en el sector periférico fueron las principales causas de las diferencias (Tabla 2.3). En los mallines Media Luna y El Tacho se agregó la ausencia de *Trifolium repens* y *Taraxacum officinale* en el sector periférico. El sector subhúmedo presentó un comportamiento variable entre los mallines. Fue muy similar al sector húmedo (73%) en Media Luna debido a la presencia de *Trifolium repens* y *Poa pratensis*, más parecido al periférico (67%) en El Tacho por la presencia de *Carex sp* y *Plantago sp*, y muy similar a ambos sectores por la abundancia de *Hordeum sp* en El Trébol, y de *Distichlis spicata* en Facundo (Tabla 2.3).

Tabla 2.2: Índices de similitud entre sectores del mallín, calculados a partir de la composición florística relativa de los sectores de los diferentes mallines.

Sector	Media Luna		El Tacho		Facundo		El Trébol	
	Subhúmedo	Periferia	Subhúmedo	Periferia	Subhúmedo	Periferia	Subhúmedo	Periferia
Húmedo	72,7	10,9	46,3	31,6	64,2	44,6	54,6	38,1
Subhúmedo		17,0		66,7		73,5		73,0

Los mallines presentaron una baja ( $\leq 50\%$ ) similitud florística entre sí, pero dentro de esta divergencia fueron más parecidos en el sector húmedo (Tabla 2.4). En este sector los mayores valores se registraron entre El Tacho y Media Luna (50,5%) y entre aquel y El Trébol (42,7%). Las especies comunes fueron *Juncus balticus*, *Carex sp* y *Hordeum sp* (Tabla 2.3) a las que se agregaron *Trifolium repens* y *Taraxacum officinale* en el primer caso. En el sector periférico el mayor valor (42,9%) se registró entre El Trébol y Facundo, debido a la presencia de *Distichlis spicata*, única especie común (Tabla 2.3). Las restantes comparaciones fueron menores al 38% de similitud.



Tabla 2.3: Composición florística de los sectores de mallín. Valores expresados en % de cobertura por sector.

ESPECIE	MALLIN			
	M. LUNA	EL TACHO	FACUNDO	EL TREBOL
<b>SECTOR HUMEDO</b>				
<i>Juncus balticus</i>	6,8	19,0	24,2	37,2
<i>Carex sp</i>	7,2	12,0	0,7	9,2
<i>Eleocharis albibracteata</i>	6,6	5,0		
<i>Distichlis spicata</i>			28,7	
<i>Hordeum sp</i>	4,2	12,0	0,7	27,5
<i>Poa pratensis</i>	25,2			
<i>Puccinellia pusilla</i>			12,5	6,0
<i>Trifolium repens</i>	34,0	12,0		
<i>Taraxacum officinale</i>	12,6	19,0		
<i>Plantago sp</i>			18,7	
<i>Pratia repens</i>	1,4	5,0	5,9	
Otras ( <i>Deyeuxia sp, Gilia sp</i> )	0,8	15,4		
<b>Cobertura vegetal</b>	<b>98,8</b>	<b>99,4</b>	<b>91,4</b>	<b>79,9</b>
Mantillo	2,0		5,5	13,7
Suelo desnudo			4,4	5,0
<b>SECTOR SUBHUMEDO</b>				
<i>Juncus balticus</i>	2,6	18,0	1,9	8,1
<i>Carex sp</i>	4,8	20,9		6,8
<i>Eleocharis albibracteata</i>	16,8	1,1		
<i>Distichlis spicata</i>			47,0	13,3
<i>Hordeum sp</i>	10,4	8,4	3,9	9,9
<i>Poa ligularis</i>				6,5
<i>Poa pratensis</i>	20,2			
<i>Puccinellia pusilla</i>		16,3	12,7	6,0
<i>Pratia repens</i>		5,9		
<i>Plantago sp</i>		22,1	12,4	
<i>Taraxacum officinale</i>	18,4			
<i>Trifolium repens</i>	21,4			
Otras ( <i>Bromus sp, Nitrophila australis, Acaena sp, Azorella sp</i> )	5,4	1,4		
<b>Cobertura vegetal</b>	<b>100,0</b>	<b>94,1</b>	<b>77,9</b>	<b>50,6</b>
Mantillo		4,0	10,0	29,3
Suelo desnudo		2,0	12,2	19,9

Tabla 2.3 (continuación): Composición florística de los sectores de mallín. Valores expresados en % de cobertura por sector.

ESPECIE	MALLIN			
	M. LUNA	EL TACHO	FACUNDO	EL TREBOL
SECTOR PERIFERICO				
<i>Juncus balticus</i>		6,0		
<i>Carex sp</i>		18,2		3,0
<i>Carex andina</i>	4,8			
<i>Distichlis spicata</i>			56,0	18,0
<i>Festuca pallescens</i>	21,3	12,8		
<i>Hordeum sp</i>	8,6	16,2		10,0
<i>Deyeuxia sp</i>	4,2			
<i>Poa pratensis</i>	3,5			
<i>Puccinellia pusilla</i>		8,8		3,0
<i>Poa ligularis</i>				7,0
<i>Plantago sp</i>		13,7	8,5	
Otras ( <i>Eleocharis albibractea</i> , <i>Bromus sp</i> , <i>Acaena sp</i> , <i>Arjona sp</i> , <i>Cerastium sp</i> , <i>Artemisia sp</i> , <i>Nitrophila australis</i> , <i>Rumex crispus</i> , <i>Pratia repens</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Senecio sp</i> )	10,5	4,4		1,0
<b>Cobertura vegetal</b>	<b>52,9</b>	<b>80,1</b>	<b>64,5</b>	<b>42,0</b>
Mantillo	24,0	14,0	30,0	42,0
Suelo desnudo	23,0	5,0	5,5	17,0

Tabla 2.4: Índices de similitud de los sectores entre diferentes mallines, calculados a partir de la composición florística relativa de los sectores de los diferentes mallines.

Mallín	El Tacho	Facundo	El Trébol
Sector Húmedo			
Media Luna	50,5	9,8	18,4
El Tacho		25,7	42,7
Facundo			35,5
Sector Subhúmedo			
Media Luna	19,0	7,5	17,8
El Tacho		39,7	50,2
Facundo			45,6
Sector Periférico			
Media Luna	37,7	0,0	18,6
El Tacho		13,2	36,9
Facundo			42,9

El contenido de materia orgánica y de nitrógeno total del suelo disminuyó del sector húmedo al periférico en todos los mallines, excepto en Facundo, que presentó valores similares en todos los sectores (Tabla 2.5). El fósforo disponible también disminuyó del sector húmedo al periférico en El Tacho y El Trébol. Por el contrario, en Facundo y Media Luna aumentó. Las mayores variaciones en el porcentaje de sodio de intercambio (PSI) se registraron en las muestras de suelo superficial de los mallines El Tacho, Facundo y El Trébol. En este último, también en las muestras más profundas. El PSI aumentó del sector húmedo al periférico en El Trébol y Facundo, en tanto en El Tacho el mayor valor se registró en el sector subhúmedo. En Media Luna se registró el mismo comportamiento, aunque los valores fueron mucho más bajos (Tabla 2.5).

Tabla 2.5: Propiedades químicas de los suelos de mallín.

Determinación		pH (1:2,5)		Salinidad (mmhos/cm)		Sodicidad (P.S.I.)		Materia orgánica (%)	Nitrógeno total (%)	Fósforo disponible (ppm)
Mallín	Sector	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	0-30 cm	0-30 cm
Media Luna	Húmedo	6,2	6,4	0,8	0,5	1,5	4,2	10,7	0,99	9,5
	Subhúm.	6,8	6,8	1,2	0,7	3,7	2,5	8,5	0,42	8,7
	Periférico	6,8	7,1	0,7	0,4	0,3	2,6	3,6	0,17	13,1
El Tacho	Húmedo	7,0	7,3	1,0	0,5	6,4	6,1	22,9	0,90	37,5
	Subhúm.	9,3	8,6	2,3	0,3	21,6	4,0	6,4	0,28	18,0
	Periférico	9,2	8,6	1,7	0,6	14,1	3,1	5,2	0,28	8,9
Facundo	Húmedo	7,5	7,3	1,5	0,9	7,2	4,4	4,3	0,21	5,2
	Subhúm.	7,6	7,2	2,0	1,1	7,1	3,4	4,8	0,24	9,1
	Periférico	8,7	8,1	2,8	1,6	17,1	6,9	5,0	0,24	13,1
El Trébol	Húmedo	8,0	8,4	4,2	5,0	11,7	32,1	6,2	0,29	12,6
	Periférico	9,2	9,2	5,0	7,2	38,6	45,1	2,0	0,11	9,0

La descripción general de los mallines se presenta a continuación:

**Mallín Media Luna:** La cobertura vegetal fue total en el sector húmedo y la mitad en el periférico. Las especies predominantes fueron *Trifolium repens* y *Poa pratensis* en el primer sector y *Festuca pallescens* en el segundo (Tabla 2.3). El suelo presentaba mayores valores de contenido de materia orgánica y de nitrógeno total y menores de fósforo disponible en el sector húmedo respecto del periférico. No presentaba problemas de salinidad ni de sodicidad en ningún sector del mallín (Tabla 2.5).

**Mallín El Tacho:** La cobertura vegetal fue total en el sector húmedo y alta (80%) en la periferia. Las especies predominantes fueron *Juncus balticus* y *Taraxacum officinale* en el sector húmedo y *Carex sp*, *Hordeum sp*, *Plantago sp* y *Festuca pallescens* en el sector periférico (Tabla 2.3). El suelo del mallín presentaba mayores valores de contenido de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible en el sector húmedo que en el sector periférico. No presentaba problemas de contenido de sales y sólo moderados problemas de contenido de sodio en superficie en el sector periférico (Tabla 2.5).

**Mallín Facundo:** La cobertura vegetal fue casi total (>90%) en el sector húmedo, un 50% superior a la del periférico. Las especies predominantes en el sector húmedo fueron *Distichlis spicata*, *Juncus balticus* y *Plantago sp*. En el periférico la dominante fue *Distichlis spicata* (Tabla 2.3). Los contenidos de materia orgánica y de nitrógeno total fueron similares en ambos sectores, mientras que el contenido de fósforo disponible en el sector húmedo fue menor que en la periferia. No se registraban problemas de salinidad, sólo moderados problemas de sodicidad en superficie en el sector periférico (Tabla 2.5).

**Mallín El Trébol:** La cobertura vegetal fue el doble en el sector húmedo que en el periférico (80 y 40% respectivamente). Las especies dominantes en el sector húmedo fueron *Juncus balticus* y *Hordeum sp*, mientras que en el periférico fueron *Distichlis spicata* y *Hordeum sp* (Tabla 2.3). El suelo presentaba mayores contenidos de materia orgánica, de nitrógeno total y de fósforo disponible en el sector húmedo que en el periférico. Además presentaba ligeros problemas de salinidad y muy fuertes problemas de sodicidad en ambos sectores (Tabla 2.5).

### **Evaluación de métodos de determinación de biomasa**

En cada fecha de muestreo todos los modelos de regresión lineal obtenidos para la relación entre las estimaciones y la biomasa cosechada en las parcelas de control fueron significativos ( $p < 0,05$ ). Presentaron valores de  $r^2$  (ajustados por los grados de libertad) superiores a 0,9 en el 65% de los casos y superiores a 0,8 en el 95% de los casos. El mínimo fue 0,71 (Ver apéndice).

A partir de los modelos de regresión obtenidos se calculó el intervalo de confianza (95%) para el valor medio estimado en cada sector del mallín y fecha de muestreo mediante la ecuación 1. Los resultados de diferentes mallines y fechas de muestreo mostraron un comportamiento similar. Por lo tanto se presentan solamente los resultados que corresponden al mallín El Tacho del 22 de diciembre de 1997 (Figura 2.2). Se seleccionó esta fecha por presentar un modelo con un  $r^2$  medio y otro alto (0,87 y 0,96 para biomasa total y verde respectivamente) y por la posibilidad de comparar los resultados de las estimaciones con los obtenidos por cortes en los mallines Media Luna y Facundo, de fechas próximas. No se observaron grandes diferencias entre los errores estándar obtenidos para los valores medios de cada sector. Esto mostraría una falta de sesgo del modelo vinculado a las diferencias de vegetación existente entre los sectores.

Una vez construidos todos los modelos de ajuste que relacionaron la biomasa estimada con la cosechada en cada fecha de muestreo se analizó la relación observados vs. predichos para las diferentes fracciones vegetales. El análisis se realizó utilizando los valores observados como variable respuesta y los predichos como variable explicatoria, según lo propuesto por Piñeiro et al. (2002). Los modelos lineales obtenidos (Tabla 2.6) no difirieron significativamente de la relación 1:1 y presentaron valores de  $r^2$  altos, positivos y significativos. La Figura 2.3 muestra la distribución de los valores y las rectas de ajuste para cada fracción vegetal. Los intervalos de confianza calculados para los valores predichos promedio, primer y tercer cuartil fueron mucho más acotados (Figura 2.4) que los obtenidos para los modelos de cada fecha y mallín (Figura 2.2). Tampoco mostraron una tendencia distinta para alguna de las fracciones vegetales consideradas y/o algún sector de la distribución.

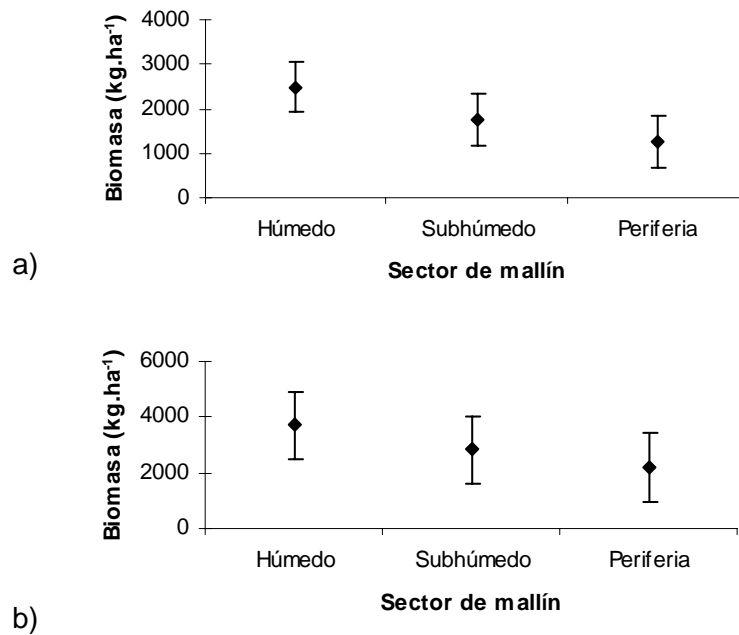


Figura 2.2: Biomasa media estimada para cada sector del mallín (en kg.ha<sup>-1</sup>) por fracción vegetal: a) Biomasa Verde, b) Biomasa Total. Las barras representan los intervalos de confianza (95%) calculados a partir de la variabilidad de los modelos de regresión. Datos correspondientes al muestreo del 22/12/97 en el mallín El Tacho.

Tabla 2.6: Parámetros de los modelos de regresión lineal (Biomasa Observada=a+b\*Biomasa predicha) y sus correspondientes errores estándar obtenidos a partir de los modelos de ajuste que relacionaron la biomasa estimada con la cosechada en cada fecha de muestreo para cada fracción vegetal.

Fracción vegetal	N	R <sup>2</sup>	p (modelo)	a	EE (a)	p (a ≠ 0)	b	EE (b)	p (b ≠ 1)
Total	168	0,96	<0,0001	0,0002	71,68	>0,999	1,00	0,0155	>0,999
Verde	158	0,96	<0,0001	0,0001	41,05	>0,999	1,00	0,0162	>0,999
Seco	71	0,95	<0,0001	0,0004	96,15	>0,999	1,00	0,0027	>0,999

Posteriormente se procedió a calcular la variabilidad espacial de la biomasa estimada mediante el método del rendimiento comparativo en cada sector del mallín. Para ello se utilizaron los valores de biomasa producidos luego de transformar las estimaciones a través de los modelos obtenidos para cada fecha de muestreo. La variabilidad interna observada en cada sector del mallín fue más baja que la registrada entre sectores, tanto para la biomasa de la fracción verde como para la biomasa total (Figura 2.5). Además fue similar a la obtenida mediante cortes, representada en los mallines M. Luna y Facundo en la Figura 2.5.

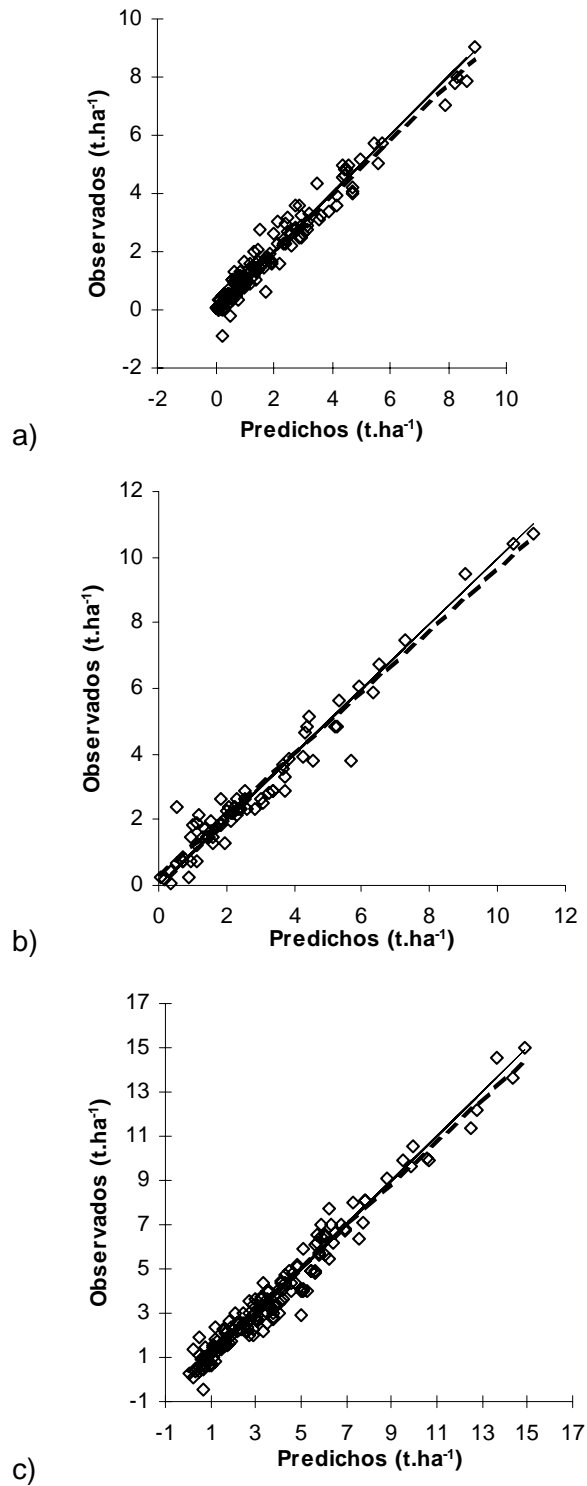


Figura 2.3: Rectas de ajuste de los valores observados vs. los valores predichos por los modelos de cada mallín en cada fecha (Biomasa Observada= $a+b$ \*Biomasa predicha; línea cortada) para cada fracción vegetal: a) Biomasa Verde, b) Biomasa Seca y c) Biomasa Total. Los parámetros de cada recta figuran en la Tabla 2.6. La línea llena representa la relación 1:1.

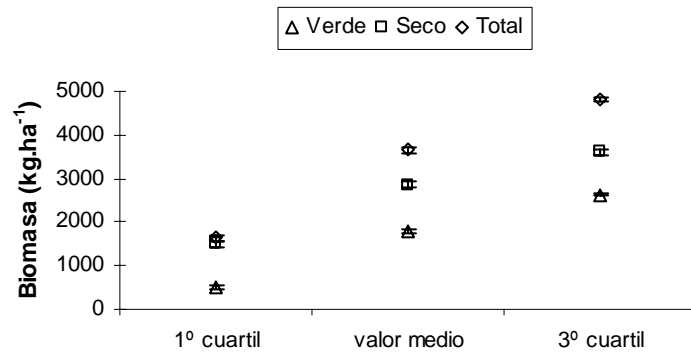


Figura 2.4: Biomasa media estimada para cada fracción vegetal (en  $\text{kg.ha}^{-1}$ ). Las barras representan los intervalos de confianza (95%) calculados a partir de la variabilidad de los modelos de regresión presentados en la tabla 2.6.

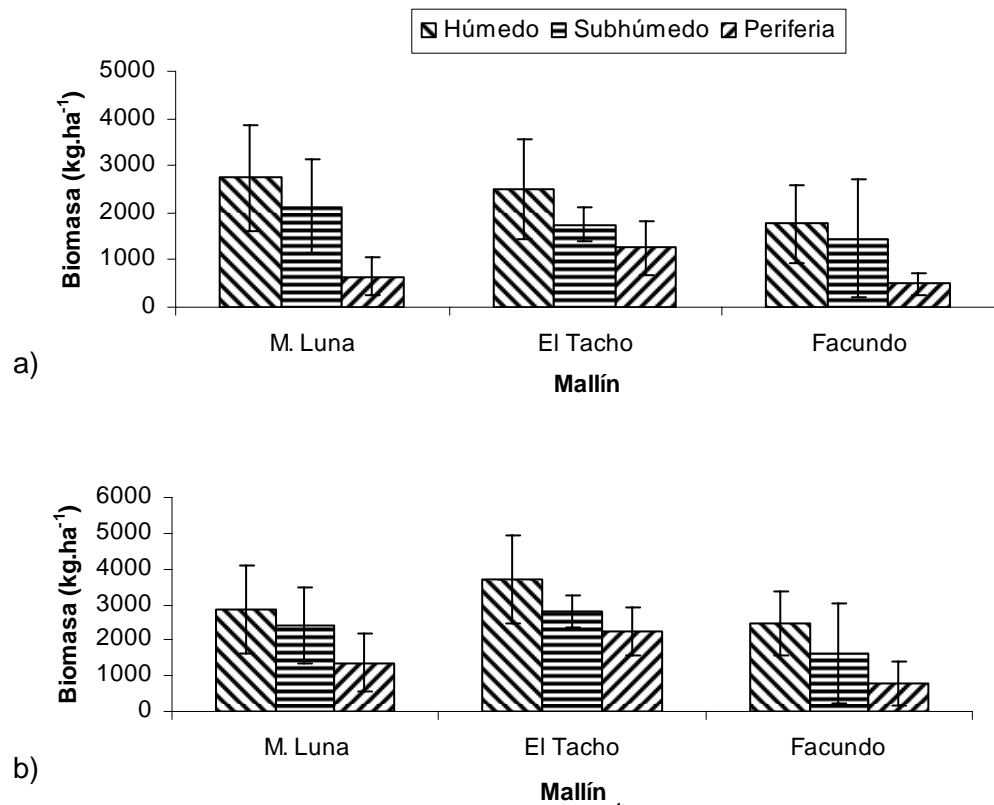


Figura 2.5: Biomasa media estimada (en  $\text{kg.ha}^{-1}$ ) para cada sector de mallín y fracción vegetal: a) Biomasa Verde y b) Biomasa Total. En Media Luna y Facundo la biomasa fue estimada mediante cortes los días 21 y 19/12/1997 respectivamente, en El Tacho mediante el método del rendimiento comparativo el 22/12/1997. Las barras representan el desvío estándar de la media.

### Evaluación de métodos de cálculo de la PPNA

El método 1 (Pico de biomasa verde) arrojó el menor valor medio de PPNA mientras que el método 2 (Pico de biomasa total) el más alto (Figura 2.6). Lo mismo se observó agrupando los valores obtenidos por mallín (Figura 2.7) o por sector de mallín (Figura 2.8).

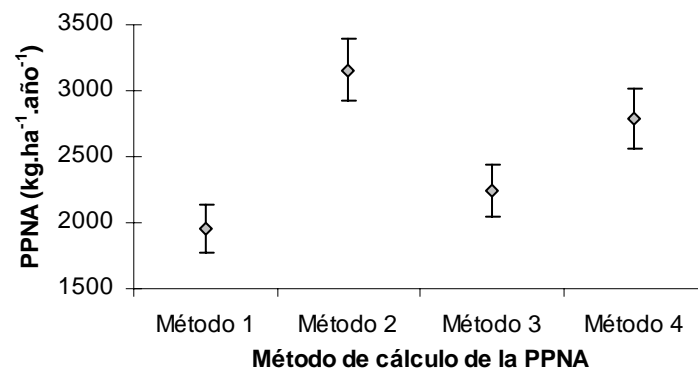


Figura 2.6: Valores de PPNA (en  $\text{kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ ) calculada a través de los cuatro métodos analizados. Los rombos indican la media de los cuatro mallines, las barras representan el error estándar de la media ( $n=48$ ). Descripción de los métodos en el texto

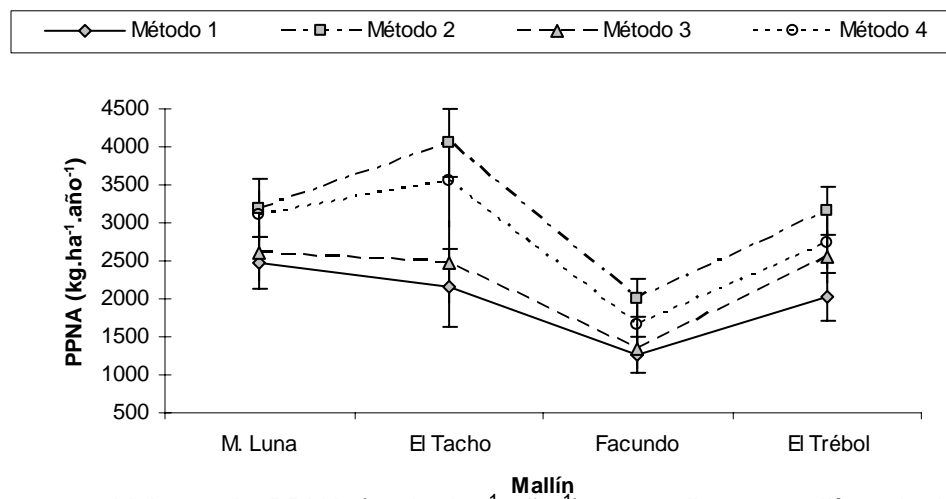


Figura 2.7: Valores de PPNA (en  $\text{kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ ) promedio por mallín calculada a través de los cuatro métodos analizados. Las barras representan el error estándar de la media ( $n=9;15; 12$  y  $12$  para M. Luna, El Tacho, Facundo y El Trébol respectivamente). Descripción de los métodos en el texto.



Los cuatro métodos presentaron correlaciones positivas y significativas (Tabla 2.7). El método 1 explicó entre el 60 y 65% de la variación de la PPNA calculada con los otros métodos (Tabla 2.8). Los modelos de regresión obtenidos presentaron ordenadas al origen diferentes de 0 ( $p < 0,01$ ) en todos los casos. La pendiente fue distinta de 1 sólo para el método 3 ( $b = 0,82$ ;  $p = 0,08$ ).

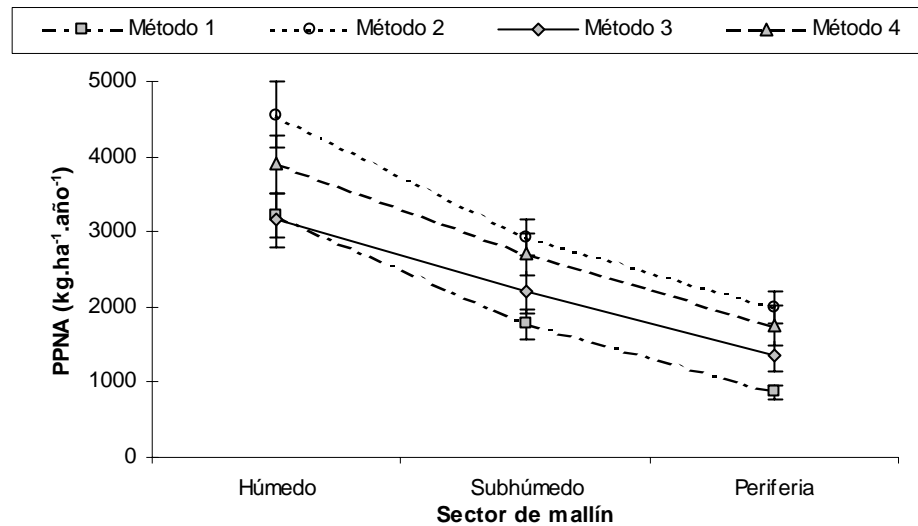


Figura 2.8: Valores de PPNA (en  $\text{kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ ) promedio por sector de mallín calculada a través de los cuatro métodos. Las barras representan el error estándar de la media ( $n=16$ ). Descripción de los métodos en el texto.

Tabla 2.7: Coeficientes de correlación de Pearson (debajo de la diagonal) y sus correspondientes probabilidades (sobre la diagonal) de los valores de PPNA obtenidos mediante los diferentes métodos.

Método	1	2	3	4
1	1,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001
2	0,84	1,00	<0,0001	<0,0001
3	0,78	0,81	1,00	<0,0001
4	0,79	0,93	0,93	1,00

Tabla 2.8: Parámetros de los modelos de regresión lineal ( $\text{PPNA}_{\text{Método } x} = a + b * \text{PPNA}_{\text{Método } 1}$ ) y sus correspondientes errores estándar y probabilidades obtenidos para cada método de cálculo de la PPNA respecto del método 1.

Método	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	p (modelo)	a	EE (a)	p (a ≠ 0)	b	EE (b)	p (b ≠ 1)
2	48	0,7	0,69	<0,0001	1088,2	239,8	<0,0001	1,06	0,10	0,75
3	48	0,6	0,59	<0,0001	628,2	231,4	0,0093	0,82	0,10	0,08
4	48	0,6	0,62	<0,0001	941,1	248,5	0,0004	0,95	0,11	0,61

## Discusión

### Descripción de los sitios de estudio

Las bajas similitudes entre los sectores húmedo y periférico de cada mallín (Tabla 2.2) coinciden con lo esperado. Las diferencias en el régimen hídrico no sólo modifican la disponibilidad de agua para las plantas sino que además, determinan cambios en las características del suelo (Tabla 2.5) que afectarían a su vez el crecimiento y desarrollo de la vegetación. En áreas de mallines y/o ribereñas de Estados Unidos se diferenciaron tipos de vegetación en función de la elevación y frecuencia de inundación (Bledsoe y Shear 2000 y Woerner y Hackney 1997) o profundidad de la napa (Castelli et al. 2000). También se registraron diferencias en las propiedades físicas y químicas de los suelos de diferentes sectores de mallines arbolados de Carolina de Sur (Burke et al. 1999) y de Nevada, USA (Chambers et al. 1999).

En cambio, la baja similitud registrada entre los mismos sectores de distintos mallines (Tabla 2.4) posiblemente se deba a las diferentes condiciones ambientales (climáticas y ecológicas) e historias de uso (pastoreo principalmente) no cuantificadas en el presente análisis. Bonvissuto et al. (1992), estudiando el sector periférico de mallines de sierras y mesetas occidentales de la Patagonia, encontraron una relación entre la pérdida de condición del pastizal e incrementos en el contenido de sales y sodio. Sin embargo, no es posible determinar si el pastoreo u otras condiciones ambientales (precipitación principalmente), gobernarían esta relación. Por ejemplo, en los valles de la provincia de Santa Cruz aumenta la proporción de mallines con menor cobertura vegetal a medida que disminuyen las precipitaciones (Mazzoni y Vázquez 2004). En Río Negro los mallines con menor cobertura y producción de la vegetación son más frecuentes en las partes bajas de diversas cuencas hidrográficas (Ayesa et al. 1999). Por lo tanto las condiciones climáticas podrían tener un peso importante en las diferencias observadas entre mallines, ya que se encuentran bajo diferentes regímenes de temperatura y precipitación.

El agua que circula por los mallines proviene principalmente del drenaje de la estepa (Paruelo et al. 2000b) mediante un flujo local o regional (Rey Benayas et al. 1998) que puede generar diferentes tipos de vegetación en función de las características geoquímicas originales del agua o del suelo por el que escurre (Bernáldez y Rey Benayas 1992, Rey Benayas y Scheiner, 1993). Por otra parte, una gran extensión de los suelos patagónicos presenta un alto contenido de sales (Beeskow et al. 1987) que son transportadas a los ambientes bajos con el agua que escurre o percola. El agua se evapora y las sales se acumulan en superficie. Por lo tanto, podría suponerse que la acumulación de sales en los suelos de los mallines sería un proceso natural, principalmente en las áreas con menores precipitaciones, donde la pérdida de agua por evaporación es proporcionalmente mayor (Paruelo et al. 2000b). La acumulación de sales favorecería la presencia de *Distichlis spicata* y otras especies de ambientes salinos en estos mallines. En el distrito subandino, más húmedo y frío, no se darían las condiciones para que este proceso ocurra, lo cual diferenciaría al mallín de esta área de los restantes.

El sobrepastoreo, al disminuir la cobertura vegetal, posiblemente acelere el proceso de acumulación de sales en áreas con escasas precipitaciones. Del Valle (1993) señala al pastoreo continuo como generador de la degradación de mallines en el noroeste de Chubut por alterar el ciclo hidrológico del mallín. Este autor plantea que la disminución de la cobertura vegetal favorece la evaporación

del agua (y consiguiente acumulación de sales) y los procesos de erosión hídrica (que comienzan como erosión laminar y terminan con cárcavas) que aridizan el mallín. En un primer paso se produce un cambio florístico, con la introducción de *Distichlis spicata* y/o *Azorella sp* en reemplazo de las hierbas y pastos más preferidos. En casos de degradación extrema se produce el reemplazo de grupos funcionales, con abundancia de arbustos y subarbustos en lugar de pastos (Del Valle 1993). Por lo tanto, mallines en una misma área sometidos a diferentes historias de uso podrían presentar diferencias florísticas y edáficas que serían adjudicables al pastoreo. Sin embargo, en las situaciones evaluadas en este trabajo, sería muy difícil distinguir entre el efecto del pastoreo y el de las variaciones regionales a partir de la condición actual de los mallines.

Comparando la composición florística de los mallines con lo descrito por Bonvisutto y Somlo (1998) y Bonvissuto et al. (1992) para mallines de precordillera y sierras y mesetas occidentales, el mallín Media Luna presenta una condición buena, el mallín El Tacho una condición buena a regular y el mallín Facundo una condición pobre. En tanto el mallín El Trébol, a pesar de encontrarse en otro distrito florístico, se asemeja a lo descrito para un mallín en condición pobre. Por lo tanto, la condición de los mallines, obtenida a partir de su composición florística, no estaría relacionada con la disponibilidad de nutrientes ya que los mallines en peor condición presentan similares o mayores valores de materia orgánica, nitrógeno total y/o fósforo disponible que el mallín en mejor condición (Tabla 2.5). Sí estaría relacionada con el contenido de sales y sodio de los suelos, lo cual coincide con lo expresado por Bonvissuto et al. (1992). Sin embargo, esa relación no estaría vinculada solamente con el pastoreo, ya que las características del agua y/o sustratos por los que ésta fluye, sumada a las condiciones climáticas del sitio, podrían condicionar la dinámica de las sales en los mallines. Las limitaciones que presenta este trabajo en relación a las características de los suelos y su variabilidad reducen el alcance de las inferencias elaboradas.

### **Evaluación de métodos de determinación de biomasa**

Los valores de ajuste entre las estimaciones y la biomasa cosechada en las parcelas control obtenidos en cada fecha ( $r^2 > 0,71$ ) son considerados satisfactorios para esta metodología (Friedel et al. 1988). La variabilidad de la biomasa estimada no tuvo sesgos asociados al tipo de vegetación (Figura 2.2), fracción de la vegetación (Figura 2.3) o rango de biomasa estimada (Figura 2.4). Además esta variabilidad fue similar a la registrada mediante cortes (Figura 2.5). Por lo tanto podemos concluir que la incertidumbre global introducida por los modelos es baja. Esto confirma lo señalado por varios autores (Tadmor et al. 1975, Reese et al. 1980, Friedel et al. 1988, Tothill et al. 1992) respecto de la utilidad del método de doble muestreo para la estimación de la biomasa. Catchpole y Wheeler (1992) advierten que este método ofrece una moderada exactitud. Sin embargo, los resultados presentados muestran que, al presentar similar desvío estándar pero un mayor número de muestras que el método de cortes, la estimación mediante el método del rendimiento comparativo resulta en un menor error estándar, lo cual permitiría detectar menores diferencias entre sectores (Figura 2.5).

### Evaluación de métodos de cálculo de la PPNA

Los valores bajos del método 1 y altos del 2 coinciden con lo obtenido por Singh et al. (1975) y Scurlock et al. (2002). Los valores de PPNA calculados con los restantes métodos son, en promedio, 90, 30 y 65% superiores para los métodos 2, 3 y 4 respectivamente, en relación al método 1 (datos no presentados), lo cual coincide con Scurlock et al. (2002). Además se observa que esta relación es mayor y más variable en los sectores del mallín menos productivos y con menor disponibilidad hídrica (Figura 2.9).

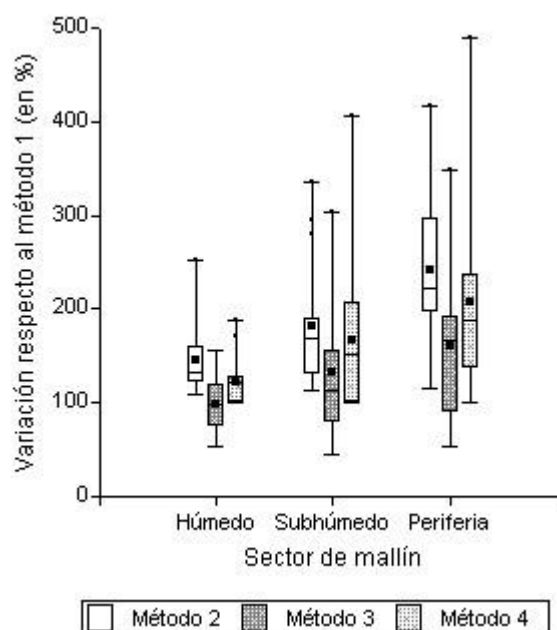


Figura 2.9: Gráfico de cajas (Box Plot) de la relación porcentual de los valores de PPNA obtenidos mediante los métodos 2, 3 y 4 respecto del método 1 por sector de mallín (Método 1 = 100%). Los puntos representan el promedio, las líneas internas la mediana, la caja los cuartiles 0,25 y 0,75 y las barras los cuantiles 0,05 y 0,95.

A diferencia de lo observado por Scurlock et al. (2002), el método 1 (que no contempla la dinámica de la vegetación muerta) no se separa claramente del resto de los métodos (que sí la tienen en cuenta), en especial del método 3. Esto podría deberse a una sobreestimación de la PPNA calculada mediante el método 1 debido al traslado de material vivo de una temporada de crecimiento a la siguiente, o a una subestimación de los métodos 2 y 3 debido a no haberse registrado la biomasa total máxima y mínima viva del pastizal respectivamente. Para este último argumento se implementó el método 4 que compensaría parcialmente esas deficiencias.

Para los métodos 2 y 4 la ordenada al origen de la relación entre la PPNA estimada con estos métodos respecto al método 1 daría una idea de la subestimación de este último al no considerar la muerte de material vegetal como parte de la producción del ciclo, que rondaría los  $1000 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ . En el caso del método 3 la pendiente menor a 1 indica que existiría un punto, alrededor de los  $3500 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , por debajo del cual este método arrojaría valores mayores de PPNA respecto del método 1, y a la inversa por encima de dicho valor.

Los valores mínimos de biomasa registrados para las fracciones vegetales viva y muerta rondaron el 22,3 y 27,1% respecto del pico de biomasa viva y total respectivamente. En el primer caso los valores se detectaron en las primeras y/o últimas mediciones de cada temporada de crecimiento, por lo que, si bien señalan un traslado de material vivo de una temporada a la otra, se podría suponer que en el período invernal (en el cual no se realizaron muestreos) podría encontrarse un valor de biomasa inferior. En cambio, los mínimos valores de biomasa muerta se detectaron en muestreos correspondientes a mediados de cada temporada de crecimiento. Por lo tanto estarían mostrando un traslado de material muerto en pie de una temporada de crecimiento a la siguiente. Con posterioridad al mínimo registrado se detectó un crecimiento de la biomasa de la fracción muerta no justificado por la disminución de la viva, lo que mostraría que, luego del pico de biomasa viva, continúa la producción de la vegetación del mallín. Sobre la base de lo expuesto se descartan para la comparación de la producción de los sectores del mallín a los métodos 1 (pico de biomasa viva) por el crecimiento posterior al pico, 2 (pico de biomasa total) por el traslado de material muerto en pie de la temporada previa y 3 (sumatoria de incrementos de biomasa) por la pérdida del valor de mínima disponibilidad invernal. El método 4 (pico de biomasa verde más sumatoria de incrementos de biomasa muerta) compensaría las falencias de los otros métodos ya que contempla la dinámica de la vegetación muerta (respecto del método 1), no incorpora el traslado de vegetación muerta del período anterior (respecto del método 2) y sorteja la falta del valor mínimo al considerar el pico de biomasa viva (respecto del método 3).

### **Conclusiones**

Los sectores húmedo y periférico de cada mallín presentan una baja similitud florística y de propiedades del suelo, posiblemente vinculadas a una diferente disponibilidad de agua entre sectores. El sector subhúmedo presenta un comportamiento variable entre mallines. En Media Luna se asemeja al sector húmedo, mientras que en El Tacho al periférico. En Facundo y El Trébol presenta similitudes con ambos sectores.

Además, los sectores de los mallines presentan una baja similitud florística entre mallines, posiblemente relacionada a la variación en las condiciones ambientales y del pastizal. Éstas harían que la condición del pastizal de los diferentes mallines varíe en un rango de buena a pobre (Bonvissuto y Somlo 1998) relacionada posiblemente con el contenido de sales y sodio del suelo. Por el contrario, no estaría relacionada con la disponibilidad de nutrientes.

La estimación mediante el método de rendimiento comparativo demostró ser un método apropiado para la determinación de la biomasa vegetal. La variabilidad introducida por los modelos de ajuste resultó similar a la obtenida por cortes. Además dicha variabilidad no tuvo sesgos asociados al tipo y fracción de la vegetación o rango de biomasa estimada.

Los valores de PPNA obtenidos mediante los diferentes métodos de cálculo resultaron altamente correlacionados. Además no se separó claramente el método que no contempla la dinámica de la vegetación muerta de los que sí lo hacen. Por lo tanto cualquiera de estos métodos podría ser de aplicación en los mallines con fines comparativos. Sin embargo el método 4 (pico de biomasa verde más sumatoria de incrementos de biomasa muerta) es el que menos limitantes presentaría para su aplicación en este tipo de ambientes y el que, en principio, generaría una estimación más confiable de la PPNA en términos absolutos .

## Capítulo 3

### Productividad primaria de mallines: variación espacial y temporal

## ***Introducción***

Los patrones de variación espacial y temporal de factores ambientales generan una variación espacial y temporal de la productividad. A escala regional la productividad está fuertemente asociada con las precipitaciones (Sala et al. 1988, Paruelo et al. 1999b), mientras que a escala local está asociada con propiedades edáficas (Bowman et al. 1985, Dovel 1996, Hackney et al. 1996, Woerner y Hackney 1997, Burke et al. 1999, Bledsoe y Shear 2000). La variación interanual de la productividad también está asociada con la precipitación anual (Lauenroth y Sala 1992), estacional (Smoliak 1986) o del año previo (Oesterheld et al. 2001), aunque estas relaciones temporales son menos fuertes que las espaciales. Restricciones en la estructura y funcionamiento de los pastizales retrasarían su respuesta a la variación de las condiciones ambientales y serían la causa de esa menor relación (Lauenroth y Sala 1992, Yahdjian 2004). Además, la variación interanual relativa de la productividad es mayor cuanto menor es la productividad media (Oesterheld et al. 1998, 1999; Paruelo et al. 1999a).

Los mallines están distribuidos en toda la región patagónica y ocupan entre el 3 y el 5% de la superficie total (Bonvissuto et al. 1992, Ayesa et al. 1999). Los datos de producción acumulada, disponibles en actas de congresos y publicaciones inéditas, indican que ésta alcanzaría valores entre 5-10 (Jouve 2003) y 10-20 veces (Ayesa et al. 1999) superiores a la estepa circundante. Estos valores permiten estimar que los mallines concentrarían del 20 al 50% de la producción de los pastizales patagónicos. Si se tiene en cuenta además que la biomasa de los mallines tiene mucho mayor calidad nutritiva que las estepas circundantes (Anchorena et al. 2001), el impacto sobre la energía y proteína requeridas por la producción animal es aun mayor. A pesar de su importancia, no se encontraron estudios de la dinámica temporal de la productividad de los mallines patagónicos en la literatura científica. La única referencia obtenida (Paruelo et al. 2004) indica que, en el segmento oeste de la estepa patagónica, los mallines ocupan el 3,3% de la superficie, producen 4000 kg.ha<sup>-1</sup> anualmente y contribuyen con más del 12% de la productividad total del área.

Para ambientes comparables en otros lugares del mundo se encontraron relaciones entre la productividad y factores ambientales, como el régimen hidrológico (Burke et al. 1999, Megonigal y Day 1992, Whigham et al. 2002), el gradiente mineral/orgánico del suelo (Venterink et al. 2001) y la profundidad de la napa freática (Megonigal et al. 1997). Sin embargo, no se pueden encontrar valores locales de referencia que permitan validar y/o extrapolar dicha información a los mallines patagónicos.

El objetivo del presente capítulo es estimar y comparar la producción vegetal de los diferentes sectores de mallín y su variabilidad interanual. Sobre la base de la caracterización de los diferentes mallines de estudio, la evaluación de los métodos de determinación de biomasa y de cálculo de la productividad (capítulo anterior), se comparó la productividad primaria neta aérea (PPNA) y su variabilidad entre sectores de mallín. Además se comparó esta variabilidad temporal de la productividad con la de ambientes similares en producción y/o precipitación media anual.

## ***Materiales y métodos***

En los mallines descritos en el capítulo anterior se determinó la PPNA de la vegetación de los sectores que los componen. Mayores detalles acerca de su descripción y métodos de cálculo de la biomasa y de la PPNA fueron presentados en el capítulo 2.

La PPNA de los sectores del mallín se comparó, en cada temporada de crecimiento, mediante un análisis de varianza utilizando medias y desvíos según la metodología propuesta por Zar (1999). El n de cada tratamiento lo determinó el menor número de muestras utilizadas para obtener las medias que intervinieron en el cálculo de la PPNA. Como tratamientos se consideraron los tres sectores de mallín. Los grados de libertad (gl) para el análisis fueron: a)  $gl_{tratamientos}=2$  (3 sectores - 1); b)  $gl_{total}=(\sum \text{ de los n de cada sector}) - 1$ ; y c)  $gl_{error}=gl_{total} - gl_{tratamiento}$ .

Mediante esta metodología se realizaron 16 comparaciones, que surgen de la suma de años evaluados en cada mallín: 5 temporadas de crecimiento correspondientes al mallín El Tacho, 3 correspondientes a Media Luna y 4 a los mallines El Trébol y Facundo. Las medias de los tratamientos se compararon utilizando el test de Tuckey.

La PPNA media por sector se relacionó con su coeficiente de variación interanual y su desvío estándar mediante un análisis de regresión lineal. Además se comparó la homogeneidad de las varianzas y de los coeficientes de variación de la PPNA a través de la metodología propuesta por Zar (1999).

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat versión 2004 (InfoStat 2004).



## Resultados

Los sectores de mallín presentaron diferencias significativas de PPNA ( $p < 0,05$ ) en 9 de las 16 comparaciones realizadas (Tabla 3.1). Las diferencias se obtuvieron principalmente entre los sectores extremos (húmedo y periférico; Figura 3.1). Ningún mallín presentó similar respuesta en todas las temporadas evaluadas. Tampoco se observó una temporada de crecimiento que presentara una respuesta similar en todos los mallines evaluados. Por lo tanto, a continuación se presentan las variaciones discriminadas por mallín, sector y año.

Tabla 3.1: Resultados del análisis de varianza de la PPNA de los sectores del mallín para cada mallín y temporada de crecimiento. Valores de F y nivel de probabilidad. Los subíndices de F corresponden a los grados de libertad del error.

Mallín	Temporada de crecimiento				
	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99
Media Luna			$F_{14}=1,0$ $p=0,386$	$F_{15}=2,6$ $p=0,104$	<b><math>F_{22}=4,7</math></b> <b><math>p=0,020</math></b>
El Tacho	<b><math>F_{42}=31,7</math></b> <b><math>p &lt; 0,001</math></b>	$F_{42}=1,2$ $p=0,307$	$F_{37}=0,7$ $p=0,474$	<b><math>F_{42}=3,8</math></b> <b><math>p=0,030</math></b>	<b><math>F_{42}=12,6</math></b> <b><math>p &lt; 0,001</math></b>
Facundo		<b><math>F_6=21,1</math></b> <b><math>p=0,002</math></b>	$F_6=0,4$ $p=0,636$	$F_6=2,1$ $p=0,194$	<b><math>F_{12}=4,8</math></b> <b><math>p=0,029</math></b>
El Trébol		<b><math>F_{12}=6,4</math></b> <b><math>p=0,012</math></b>	<b><math>F_{12}=9,7</math></b> <b><math>p=0,003</math></b>	<b><math>F_{17}=6,8</math></b> <b><math>p=0,007</math></b>	$F_{11}=2,9$ $p=0,096$

En el mallín Media Luna se registraron diferencias significativas entre los sectores húmedo y periférico en la temporada 1998/99. La producción promedio del sector húmedo fue aproximadamente el doble que la del periférico, mientras que la del sector subhúmedo presentó un valor intermedio (Figura 3.1 a).

En el mallín El Tacho se registraron diferencias significativas de producción entre el sector húmedo y los restantes en las temporadas 1994/95 y 1998/99, mientras que en la 1997/98 sólo se apreciaron diferencias entre el húmedo y el periférico. La producción promedio del sector húmedo fue casi el doble que la de los restantes sectores (Figura 3.1 b).

En el mallín Facundo se registraron diferencias significativas de producción entre el sector húmedo y los restantes en la temporada 1995/96, mientras que en la temporada 1998/99 sólo se observaron diferencias entre los sectores húmedo y periférico. La producción promedio de los sectores húmedo y subhúmedo fue aproximadamente el doble que la del periférico (Figura 3.1 c).

En el mallín El Trébol se registraron diferencias significativas de producción en las temporadas 1995/96 y 1996/97 entre los sectores húmedo y subhúmedo respecto del sector periférico, mientras que en la temporada 1997/98 sólo se registraron diferencias significativas entre el sector húmedo y el periférico. La producción promedio de los sectores húmedo y subhúmedo fue aproximadamente el triple que la del periférico (Figura 3.1 d).

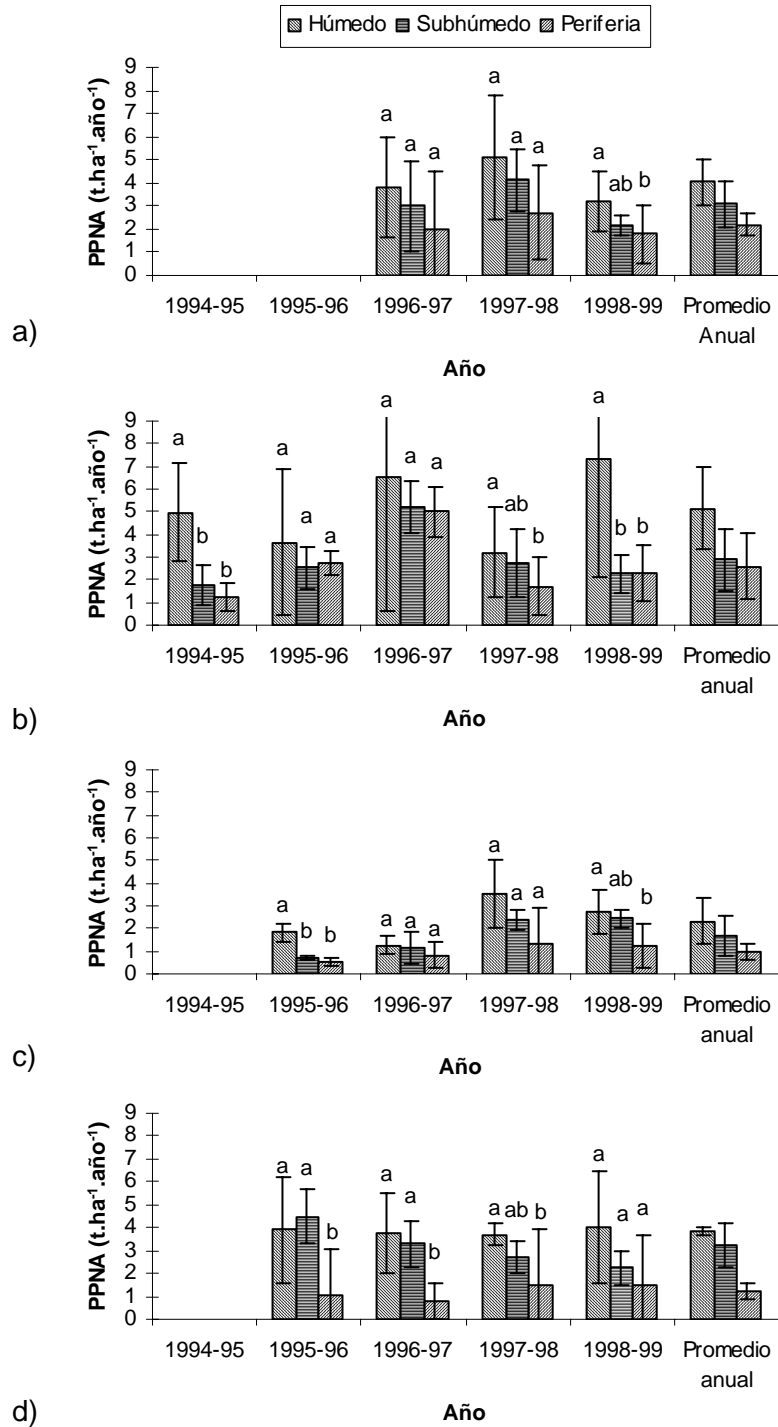


Figura 3.1: Valores de PPNA (expresada en t MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) por temporada de crecimiento y sector de mallín: a) Mallín Media Luna, b) Mallín El Tacho, c) Mallín Facundo y d) Mallín El trébol. Diferentes letras en cada temporada de crecimiento indican diferencias significativas entre sectores (p<0,05). Las barras verticales representan el desvío estándar espacial (en cada temporada de crecimiento) o temporal (en promedio interanual).

También es posible señalar algunas diferencias de producción entre mallines. Los sectores húmedo y periférico de El Tacho produjeron 2,2 y 2,6 veces más que los de Facundo, respectivamente. El sector húmedo de Facundo produjo, en promedio, lo mismo que los sectores periféricos de El Tacho y Media Luna, y algo menos que los subhúmedos de éstos y El Trébol (Figura 3.1).

La variación interanual de la PPNA de cada sector del mallín, estimada a través del coeficiente de variación (CV), no se relacionó significativamente con la PPNA promedio ( $p=0,307$ ;  $n=12$ ; Figura 3.2). Ésta sí se relacionó en forma positiva con su desvío estándar ( $r^2=0,28$ ;  $n=12$ ;  $p=0,07$ ), aunque la proporción explicada fue baja. El CV y la varianza interanual de la PPNA de los distintos sectores dentro de un mallín o de los distintos mallines dentro de un mismo sector fueron, por lo general, similares (Figura 3.2). Solamente el sector húmedo del mallín El Trébol tuvo una menor variación interanual marginalmente significativa, tanto cuando se lo comparó con los otros dos sectores del mismo mallín ( $p=0,06$ ) como con el sector correspondiente de los otros mallines ( $p=0,08$ ).

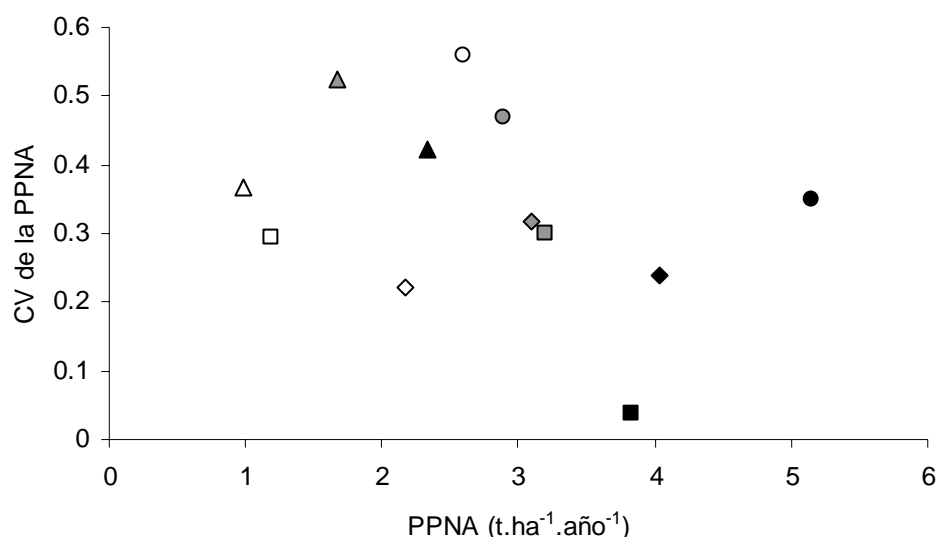


Figura 3.2: Variación interanual de la PPNA de los sectores de los mallines evaluados expresada a partir del coeficiente de variación de la media. Las figuras representan los mallines (rombo: Media Luna, cuadrado: El Trébol, triángulo: Facundo y círculo: El Tacho) y los colores los sectores de mallín (negro: húmedo, gris: subhúmedo y blanco: periferia).

### **Discusión**

Hubo importantes diferencias de producción entre sectores y entre mallines y estas diferencias no fueron constantes en el tiempo ni en el espacio (Figura 3.1). La variación interanual de la PPNA fue, por lo general, similar entre sectores y/o mallines, alta en todo el rango analizado (Figura 3.2) y no se relacionó con su valor medio.

Los valores de producción media anual obtenidos en estos mallines, ubicados a lo largo de un amplio eje de variación Este-Oeste, son consistentes con algunos obtenidos en otras áreas de la región patagónica, como por ejemplo en vegas y mallines del sur de la región (Collantes y Faggi 1999) o en el sector

periférico de mallines del norte, en Río Negro (Bonvissuto y Somlo 1998). También concuerdan con lo registrado en otras regiones, por ejemplo en mallines de áreas riparias de Colorado, EEUU (Tucker y Leininger 1990), en mallines de suelos turbosos de Inglaterra (Kirkham y Wilkins 1994) y en mallines de Bélgica y Holanda (Venterink et al. 2001). Sin embargo, los valores obtenidos para el sector húmedo de mallines en condición buena en Río Negro (Bonvissuto y Somlo 1998) superan hasta en 60% los de este trabajo. Esta diferencia podría deberse no sólo a propiedades del suelo o la vegetación sino también a la variación latitudinal. Ésta determinaría un inicio más temprano de la estación de crecimiento (Jobbágy et al. 2002) y podría relacionarse con una mayor temperatura y duración del período de producción de las especies del sector húmedo del mallín. En los sectores con menor disponibilidad de agua, o en mallines degradados, estaría limitada la capacidad de respuesta de la vegetación a aquel factor. Un hecho que señalaría la existencia de diferentes controles de la PPNA para cada sector de mallín es que las temporadas de crecimiento de máxima y mínima productividad coincidieron para todos los sectores del mallín solamente en Media Luna. En el resto de los mallines las temporadas de crecimiento en las que ocurrieron los máximos o los mínimos en cada sector fueron diferentes. Esa variación en el comportamiento de los sectores de los mallines entre temporadas de crecimiento y entre mallines señalaría una interacción significativa coincidente con la obtenida en mallines de otras regiones (Whigham et al. 2002, Clary 1995).

A pesar de lo mencionado precedentemente se puede observar un gradiente de producción del mallín desde el sector húmedo a la periferia (Figura 3.1), que podría estar vinculado a la posición topográfica (Vázquez de Aldana et al. 2000), la distribución diferencial de agua (Burke et al. 1999) y/o nutrientes (Venterink et al. 2001). Algunos autores (Magonigal et al. 1997, Whigham et al. 2002), trabajando en ambientes similares, obtuvieron mayores valores de producción en la zona intermedia respecto de la anegada (Temporary zone en el trabajo original). Sin embargo la descripción de esta zona concuerda con el sector húmedo del mallín tal como está considerado en esta tesis, por lo cual se podría suponer que el trabajo citado está considerando el sector permanentemente inundado, que no fue evaluado en esta tesis. La diferencia de producción observada entre los sectores de mallín, principalmente entre los sectores extremos, hace necesaria su delimitación diferencial para poder cuantificar correctamente la oferta forrajera. Los mallines presentan una gran diversidad de formas y un comportamiento generalmente errático de sus cauces (Ayesa et al. 1999). Por lo tanto, la cartografía de los sectores resultaría necesaria para cuantificar en forma correcta la oferta forrajera del mallín. Además, definir unidades de pastoreo que no incluyan diferentes sectores de mallín favorecería la distribución homogénea de los animales y su utilización en los momentos óptimos para cada tipo de vegetación.

En la región patagónica los valores de precipitación media anual son bajos. Por lo tanto, si el gradiente de humedad define los sectores que componen los mallines, es esperable que su productividad refleje ese gradiente. Los resultados muestran que la PPNA, además, estaría reflejando la variabilidad de las precipitaciones. En la Tabla 3.2 se presentan valores de PPNA, precipitación media anual y su variabilidad para una serie de pastizales. A partir de ella se puede apreciar una variabilidad interanual media de la PPNA cercana al 25% y una relación inversa entre la variabilidad y la PPNA. Los menores valores se registran en ambientes con mayor disponibilidad de agua, como mallines, pastizales con precipitaciones elevadas, con riego o aquellos ubicados en posiciones topográficas bajas. Por lo tanto, se esperaría que los mallines

evaluados en el presente trabajo hubiesen presentado una baja variabilidad, especialmente en los sectores húmedos. Por el contrario, dos sitios presentaron valores particularmente altos, uno similar a la media general y sólo uno por debajo (Figura 3.2), que podría relacionarse con la alta variabilidad de las lluvias en los sitios estudiados, ya que ésta explica el 50% de la variabilidad de la PPNA y su efecto es mayor en ambientes con menor precipitación media (Oesterheld et al. 1999).

La alta variación interanual de la productividad también podría estar relacionada con la menor capacidad de los gramíneos (principal componente de la vegetación de los mallines) de amortiguar esa variación climática. En la estepa patagónica, Jobbagy y Sala (2000) registraron un mayor CV interanual de la PPNA de los pastos respecto del total del pastizal (Tabla 3.2) atribuible a la capacidad de pastos y arbustos de aprovechar diferentes fuentes de agua y tener, por lo tanto, diferentes controles de la PPNA. Algo similar se observa en la estepa de pastos cortos de norteamérica. La variación de la producción de forraje, compuesta en un 90% por un pasto perenne, fue mayor a la variabilidad de la PPNA del pastizal y de las precipitaciones (Lauenroth y Sala 1992, Tabla 3.2).

La interacción entre la cantidad y variabilidad de las precipitaciones y el potencial de crecimiento de la vegetación es responsable de la variabilidad de la PPNA a nivel de biomasa (Knapp y Smith 2001). Esa interacción justificaría la variabilidad detectada en los mallines patagónicos. En la Tabla 3.2 se puede apreciar que la PPNA media de los mallines es similar a la de ambientes que reciben 2 a 3 veces más precipitaciones y la variabilidad de éstas mucho mayor. Knapp y Smith (2001) indican que la menor variabilidad de la PPNA en ambientes desérticos se debería a una menor capacidad de la vegetación para responder a incrementos de agua. Por el contrario, en ambientes muy húmedos habría una menor variabilidad de la disponibilidad hídrica en el suelo debido a un excedente de lluvias. En el caso de los mallines, la vegetación tiene capacidad de producir cuando las condiciones son óptimas, pero éstas no se presentarían todos los años, de ahí su alta variabilidad.

Tabla 3.2: Valores de PPNA, precipitaciones y variación interanual para diferentes tipos de pastizales [valores promedio (desvío estándar), excepto en \* que es error estándar]. CV: coeficiente de variación de la media; N: años que abarca el CV de PPNA; PMA: precipitación media anual; sd: Sin datos disponibles.

Tipo de pastizal (ubicación)	PPNA (g.m <sup>2</sup> )	CV (%)	N	PMA (cm)	CV (%)	Observaciones	Fuente
Estepa semiárida de pastos y arbustos (Río Mayo, Chubut, Argentina)	56 (15)	26	10	15 (6)	37	PPNA del pastizal	Jobaggy y Sala (2000)
	29 (9)	31	10			PPNA de arbustos	
	28 (10)	37	15	15 (5)	34	PPNA de pastos	
Arbustales áridos y semiáridos (incluye comunidades de Mulga y arbustales bajos de quenopodiáceas, Goldfield, West Australia)	75 (17)	23	8	23 (sd)	sd	Alto impacto del pastoreo	Holm et al. (2003)
	76 (26)	34	8			Bajo impacto del pastoreo	
Arbustales áridos y semiáridos (incluye comunidades de Mulga y arbustales bajos de quenopodiáceas, Murchinson, West Australia)	61 (14)	23	8	21 (sd)	sd	Alto impacto del pastoreo	
	59 (13)	22	8			Bajo impacto del pastoreo	
Estepa de pastos cortos (Central Plains E.R., Colorado, EE. UU.)	94 (32)	34	14	32 (6)	18	PPNA del pastizal	Lauenroth y Sala (1992)
	66 (29)	44	50	32 (10)	31	Producción de forraje	
Pastizal de Bouteloua eriopoda (Jornada, New México, EE. UU.)	229 (64)	28	9	26 (10)	33		Knapp y Smith (2001)
Pastizal mixto de desierto (Sevilleta, New Mexico, EE. UU.)	184 (46)	25	10	27 (7)	26		
Estepa de pastos cortos (SGS, Colorado, EE. UU.)	116 (40)	34	16	36 (7)	20		
Pastizal y sabana de roble (Cedar Creek, Minnesota, EE. UU.)	277 (92)	33	17	83 (19)	24		
Pradera de pastos altos anualmente quemada (Konza Prairie, Kansas, EE. UU.)	443 (107)	24	23	83 (20)	24		
Mallín húmedo de altura (Niwot Ridge, Colorado, EE. UU.)	199 (36)	18	15	124 (21)	17		
Pradera de pastos altos anualmente quemada (Konza Prairie R.N.A., Kansas, EE. UU.)	506 (117)	23	19	87 (24)	27	Posición en el paisaje baja	Briggs y Knapp (1995)
	363 (104)	29	19			Posición en el paisaje alta	
Pradera de pastos altos no quemada (Konza Prairie R.N.A., Kansas, EE. UU.)	404 (109)	26	19			Posición en el paisaje baja	
	357 (90)	24	19	Posición en el paisaje alta			
Pradera de pastos altos anualmente quemada, no regada (Konza Prairie R.N.A., Kansas, EE. UU.)	467 (8 *)	11	8	85 (sd)	24	Posición en el paisaje baja	Knapp et al. (2001)
	515 (10 *)	18	8			Posición en el paisaje alta	
Pradera de pastos altos anualmente quemada y regada (Konza Prairie R.N.A., Kansas, EE. UU.)	614 (10 *)	9	8	115 (sd)	sd	Posición en el paisaje baja	
	629 (10 *)	9	8			Posición en el paisaje alta	
Pastizal semiárido de la Dehesa (Salamanca, España)	293 (64)	22	8	50 (sd)	sd	Posición baja de la ladera	Vázquez de Aldana et al. (2000)
	122 (52)	43	8			Posición alta de la ladera	
Mallín para heno, rico en especies (Herb-rich wetlands hay meadows, Somerset, Reino Unido)	506 (85)	17	4	87 (sd)	sd		Kirkham y Wilkins (1994)
Mallín Media Luna (Aldea Beleiro, Chubut, Argentina)	310 (81)	26	3	39 (8)	20	PMA período 1974-97 (n=23)	Este trabajo
Mallín El Trébol (C. Rivadavia, Chubut, Argentina)	274 (49)	21	4	23 (8)	36	PMA período 1931-94 (n=64)	
Mallín Facundo (Facundo, Chubut, Argentina)	166 (74)	44	4	15 (6)	37	PMA de Río Mayo, período 1955-2003 (n=39)	
Mallín El Tacho (Río Mayo, Chubut, Argentina)	354 (153)	46	5	19 (7)	38	PMA período 1994-98 (n=5)	

## **Conclusiones**

Los valores medios de PPNA obtenidos coinciden parcialmente con los valores presentados en la literatura. La principal diferencia observada fue la obtención de valores más bajos que los obtenidos en otros trabajos para el sector húmedo de mallines en condición buena.

Los sectores de los mallines presentan diferencias de PPNA principalmente entre el sector húmedo y periférico. Además, esta PPNA presenta una gran variabilidad entre temporadas de crecimiento y entre mallines, superiores a las observadas en ambientes comparables del resto del mundo. La variación entre mallines y sectores es tal que el sector húmedo de uno puede producir al nivel del periférico de otro. Sin embargo se puede apreciar un gradiente de producción desde el centro a la periferia del mallín. Estudios vinculados a cuantificar la disponibilidad de los recursos junto a la caracterización de las condiciones climáticas permitiría definir los factores que controlan la producción de los mallines y diseñar modelos que permitan su estimación.

Mientras tanto, en función del generalizado estado de deterioro que presentan los mallines (Ayesa et al. 1999) y la variación espacial y temporal de su PPNA, se considera imprescindible la delimitación de los sectores del mallín y la determinación periódica de su PPNA, a nivel predial, para evaluar la capacidad forrajera.

## Capítulo 4

**Relación entre el índice verde y la productividad primaria  
de mallines. Su aplicación para evaluar variación estacional.**



## **Introducción**

La productividad primaria neta aérea (PPNA) es una de las principales determinantes de la carga animal que puede sostener un pastizal (Oesterheld et al. 1992). A pesar de su gran relevancia para los sistemas ganaderos, son pocos los datos disponibles. Esto se relacionaría con las dificultades metodológicas para estimarla.

El índice verde normalizado (IVN), resultante de la combinación de las bandas espectrales roja e infrarroja captadas por satélites, es un buen estimador de la PPNA (Paruelo et al. 1997, 2000a). Esta capacidad se fundamenta en la reflectancia diferencial del tejido fotosintético para las mencionadas bandas espectrales. Esto permite estimar la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (fPAR) (Potter et al. 1993, Ruimy et al. 1994) y, conociendo el total de la radiación fotosintéticamente activa incidente sobre la vegetación (PAR), calcular la radiación fotosintéticamente activa absorbida (APAR), según la siguiente ecuación:

$$APAR = fPAR \times PAR$$

La productividad primaria neta (PPN) está directamente relacionada con la APAR a través del modelo propuesto por Monteith (1972):

$$PPN = \varepsilon \left[ \int APAR \right]$$

donde  $\varepsilon$  es la eficiencia de conversión de energía expresada en g/MJ. Esta eficiencia varía principalmente en función del tipo de vegetación y por efecto de la temperatura y disponibilidad de agua y nutrientes (Potter et al. 1993, Ruimy et al. 1994). Paruelo et al. (1997) estimaron su valor para pastizales templados de Norteamérica, el cual se incrementaba de 0.10 a 0.20 g C/MJ a lo largo del gradiente de precipitaciones analizado (300 – 1000 mm anuales).

La dinámica del IVN a lo largo del año permite determinar atributos funcionales del ecosistema como la amplitud de la estación de crecimiento o el momento del pico de crecimiento. Si bien existen relaciones entre la PPNA y el IVN (Paruelo et al. 1997, 2000a) es necesaria la calibración de modelos para diferentes sistemas y/o escalas espacio-temporales (Lauenroth y Sala 1992, Paruelo et al. 1997).

Las imágenes captadas por los satélites LANDSAT TM presentan una serie de ventajas que permiten su utilización para el estudio de diferentes aspectos de la vegetación de los mallines. Su resolución espectral permite el cálculo del IVN y su resolución espacial de 900 m<sup>2</sup> puede captar los diferentes sectores del mallín. Además, la utilización de imágenes de diferentes momentos permitiría captar la dinámica del IVN a lo largo del año.

Los objetivos del presente capítulo son: 1) obtener un modelo de ajuste para la relación PPNA e IVN de mallines, 2) comparar la dinámica del IVN en los diferentes sectores de mallín durante una temporada de crecimiento. Para cumplir con el primer objetivo se trabajó con valores de PPNA e IVN de dos temporadas de crecimiento (1997/98 y 1998/99). El segundo objetivo se logró a partir del análisis de cuatro imágenes correspondientes a la temporada de crecimiento 1998/99.

## **Materiales y métodos**

El estudio se realizó en el mallín El Tacho, ubicado en el Campo Experimental Río Mayo de INTA. Éste se encuentra en el sudoeste de la

provincia de Chubut, próximo a la localidad de Río Mayo. El mallín presenta una condición buena a regular (Bonvissuto y Somlo 1998, Bonvissuto et al. 1992) y valores de PPNA de 5000 y 2600 kg MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> en los sectores húmedo y periférico respectivamente. Se utiliza bajo pastoreo con ovinos u ovinos y vacunos desde fines de primavera a principios de otoño. Mayores detalles acerca de la descripción del mallín y su productividad fueron presentados en los capítulos 2 y 3 respectivamente.

Sobre una superficie aproximada de 200 ha, bajo pastoreo, se seleccionaron diferentes parcelas correspondientes a los sectores húmedo, subhúmedo y periférico del mallín. Cada parcela fue delimitada utilizando un dispositivo de mano de ubicación global (GPS, siglas de su expresión en inglés: Global Positioning System) Garmin Etrex para determinar la posición (coordenadas geográficas en latitud y longitud) de sus vértices, con un error del GPS menor a 10 m. Los vértices fueron digitalizados y unidos por líneas para dar lugar a polígonos utilizando el software PC ARC/INFO 3.5.1. Se delimitaron de la misma manera 6 parcelas por sector de mallín, 18 parcelas en total. La superficie media por parcela fue de 2 ha, que contenían un promedio de 22 píxeles LANDSAT. La parcela de mayor tamaño correspondió al sector húmedo con 5,5 ha y 61 píxeles y la menor correspondió al sector subhúmedo con 0,15 ha y 1,75 píxeles. Debido al pequeño tamaño resultante, esta parcela no fue considerada en los análisis, con lo cual la parcela más pequeña analizada correspondió al mismo sector subhúmedo y tenía 0,39 ha y 4,2 píxeles.

Se utilizaron 5 imágenes (path 230, row 92), captadas por el sensor Thematic Mapped del satélite Landsat 5, obtenidas en las siguientes fechas: 23/12/1997, 05/09/1998; 23/10/1998; 27/01/1999 y 03/05/1999, todas libres de nubosidad sobre el sector bajo estudio. Todas las imágenes fueron georreferenciadas mediante la registración con otra imagen del mismo satélite y de fecha 09/12/1986. Ésta había sido previamente georreferenciada en el Laboratorio de Teledetección y SIG de la EEA Chubut de INTA, a través de la adquisición de más de 40 puntos de control distinguibles en la imagen y en el terreno (cruces de rutas y caminos, etc). Los puntos fueron adquiridos con un par de GPS diferenciales y la imagen fue rectificadas con un error menor a 1 píxel. Para la registración de las imágenes se usaron más de 40 puntos de control por imagen, obteniendo un error menor a 1 píxel. El proceso se realizó con el software Erdas Imagine 8.6.

Además se realizó la corrección radiométrica de los valores digitales de las imágenes para llevarlos a reflectancia de la superficie. Para ello se utilizó el módulo COST del software IDRISI KILIMANJARO. Este modelo (Chavez 1996) realiza las correcciones atmosféricas a partir de datos de la propia imagen y de la información presente en el archivo Header incluido en ellas. Para ello utiliza: 1) La ganancia (gain en inglés) y compensación (bias u offset, según los textos, en inglés) para convertir los valores digitales a radiancia; 2) El método de la substracción de un objeto oscuro (DOS, de su sigla en inglés Dark Object Substractions), por lo general un cuerpo de agua, en este trabajo el Lago Buenos Aires, para eliminar el efecto aditivo de la dispersión atmosférica; y 3) El coseno del ángulo del zenit solar, el centro y ancho de la banda espectral para eliminar el componente multiplicativo de la dispersión atmosférica. Posteriormente se calculó el IVN, utilizando el mismo software, a partir de las bandas 3 (Rojo=R) y 4 (Infrarrojo=IR) de las imágenes mediante la ecuación:  $IVN = (IR-R) / (IR+R)$ . Para extraer el IVN medio de cada parcela en cada imagen se utilizó el módulo GIS ANALYSIS del software Erdas Imagine 8.6.

Los valores de IVN medio por sector de mallín, extraídos de las imágenes de diciembre de 1997 y enero de 1999, se utilizaron para ajustar la relación IVN

y PPNA. Para ello se realizó un análisis de regresión en el cual se utilizó al IVN como variable independiente y a la PPNA como variable dependiente. Los valores de PPNA utilizados correspondieron a los obtenidos en el capítulo 2. Se presentan los resultados obtenidos utilizando los métodos de pico de biomasa viva y pico de biomasa total por ser los únicos que presentaron una relación significativa. Mayores detalles acerca de los métodos utilizados para la obtención y cálculo de la PPNA fueron presentados en el capítulo 2.

La dinámica del IVN en los diferentes sectores del mallín se evaluó utilizando los valores extraídos de las imágenes de septiembre y octubre de 1998 y de enero y mayo de 1999. Como estos valores de IVN corresponden a medidas repetidas en el tiempo, se utilizó para su análisis la aproximación multivariada propuesta por Von Ende (1993) y Gurevitch y Chester (1986). Se realizó un análisis de la varianza multivariado, con los sectores del mallín como variable de clasificación y los valores de IVN en las cuatro fechas como variables de análisis. Se utilizó el análisis de perfiles para evaluar el efecto tiempo. Además, para identificar el intervalo de tiempo en el cual los tratamientos difieren se realizó un análisis de la varianza univariado sobre las diferencias de valores entre fechas adyacentes (contraste de perfiles).

El análisis de la varianza multivariado realizado cumple con lo recomendado por Maxwell y Delaney (1990, citado en Von Ende 1993) para no tener una baja potencia. Ellos recomiendan hacer el análisis cuando  $N-M > k+9$ , donde N es el número total de muestras, M es el número de tratamientos y k es el número de variables de análisis (Maxwell y Delaney 1990). En este trabajo  $N=17$ ,  $M=3$  y  $k=4$ , por lo tanto resulta  $14 > 13$ . Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat versión 2004 (InfoStat 2004).

La dinámica de la biomasa viva por sector de mallín correspondientes a la temporada de crecimiento 1998/99 del mallín El Tacho se graficó a partir de los valores obtenidos en el capítulo 2.

## **Resultados**

El IVN explicó algo más del 50% de la variabilidad de la PPNA, estimada a partir del pico de biomasa total, a través de un modelo exponencial marginalmente significativo ( $r^2=0,52$ ,  $n=6$ ,  $p=0,10$ , Figura 4.1), que indicaría una ligera saturación del IVN para valores altos de PPNA. Sin embargo, un valor llamativamente alto de PPNA, correspondiente al sector húmedo en la temporada de crecimiento 1998/99, influyó marcadamente en esta relación. Sin considerar ese dato extremo, el IVN explicó una mayor proporción de la variación de la PPNA estimada tanto a partir del pico de biomasa total ( $r^2=0,96$ ,  $p<0,01$ ,  $n=5$ , Figura 4.1) como del pico de biomasa viva ( $r^2=0,77$ ,  $p<0,05$ ,  $n=5$ , Figura 4.2). Además, la proporción explicada no difirió entre modelos lineales o exponenciales, lo que sugeriría que en ese rango de PPNA no hay saturación del IVN o que no hay grandes variaciones en la eficiencia del uso de la luz.

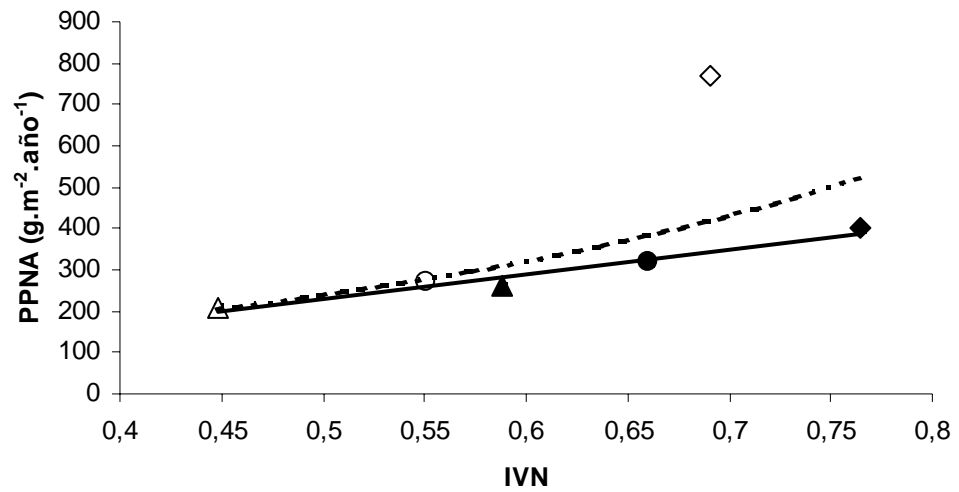


Figura 4.1: Relación entre el índice verde normalizado (IVN) y la productividad (PPNA) estimada a partir del pico de biomasa total por sector del mallín. La línea punteada corresponde al ajuste exponencial ( $PPNA=54,12.e^{2,96.IVN}$ ) realizada utilizando todos los puntos ( $r^2=0,53$ ,  $p=0,10$ ,  $n=6$ ). La línea entera corresponde al ajuste lineal ( $PPNA = -65 + 592,9.IVN$ ) obtenido excluyendo el valor correspondiente al sector húmedo en la temporada de crecimiento 1998/99 ( $r^2=0,96$ ,  $p<0,01$ ,  $n=5$ ). Las figuras representan sectores de mallín (rombo: húmedo, círculo: subhúmedo, triángulo: periferia) y los colores temporadas de crecimiento (negro: 1997/98, blanco: 1998/99). Valores de IVN medio por sector de mallín extraídos de las imágenes de diciembre de 1997 y enero de 1999.

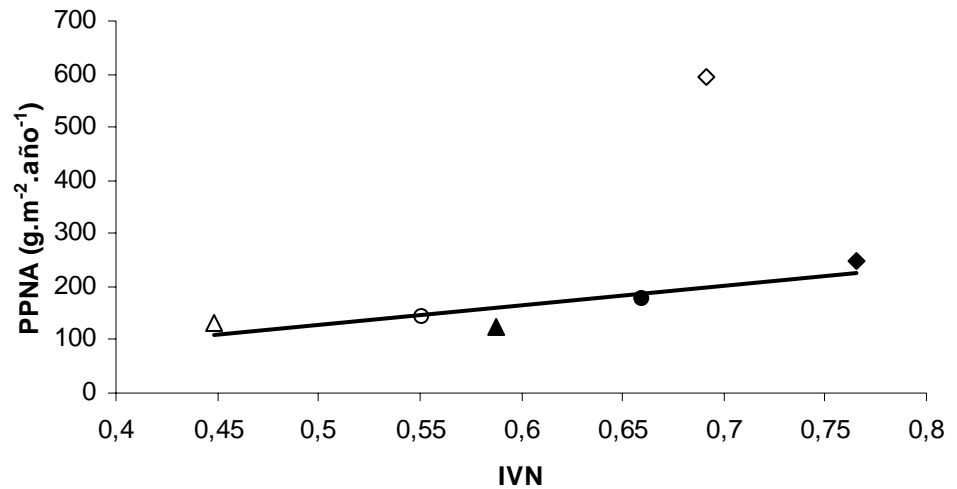


Figura 4.2: Relación entre el índice verde normalizado (IVN) y la productividad (PPNA) estimada a partir del pico de biomasa viva por sector del mallín. La línea representa al ajuste lineal ( $PPNA = -60 + 373,9.IVN$ ;  $r^2=0,76$ ,  $p=0,05$ ,  $n=5$ ) obtenido excluyendo el valor correspondiente al sector húmedo en la temporada de crecimiento 1998/99. Las figuras representan sectores de mallín (rombo: húmedo, círculo: subhúmedo, triángulo: periferia) y los colores temporadas de crecimiento (negro: 1997/98, blanco: 1998/99). Valores de IVN medio por sector de mallín extraídos de las imágenes de diciembre de 1997 y enero de 1999.

La variación estacional del IVN fue diferente para los distintos sectores de mallín (Tabla 4.1, interacción significativa tiempo $\times$ sector,  $p < 0,05$ , Figura 4.3). El análisis univariado de los contrastes (Tabla 4.2) mostró que: a) en el período septiembre-octubre de 1998 el IVN aumentó de manera similar en todos los sectores, b) en el período octubre de 1998 - enero de 1999 el IVN aumentó en el sector húmedo y disminuyó en los sectores subhúmedo y periférico, y c) en el período enero-mayo de 1999 el IVN disminuyó en todos los sectores, aunque más notoriamente en los sectores húmedo y subhúmedo.

Tabla 4.1: Resultado del análisis de la varianza multivariado de la interacción tiempo $\times$ sector de mallín y de los efectos individuales. Valor del estadístico de Wilks, F equivalente, grados de libertad (gl) del numerador (num) y del denominador (den) y su probabilidad.

Fuente de variación	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p=
Sector $\times$ tiempo	0,21	4,75	6	24	0,003
Tiempo	0,17	19,40	3	12	<0,001
Sector	0,12	51,63	2	14	<0,001

Tabla 4.2: Resultados de los análisis de varianza de los contrastes entre fechas sucesivas. Sector evalúa la diferencia entre sectores en cada contraste.

Anovas sobre cada contraste			
F.V.	gl	F	p=
Contraste Octubre-Septiembre			
Tiempo	1	8,11	0,013
Sector	2	1,19	0,334
Contraste Enero-Octubre			
Tiempo	1	1,62	0,224
Sector	2	4,79	0,026
Contraste Mayo-Enero			
Tiempo	1	65,21	<0,001
Sector	2	14,69	<0,001

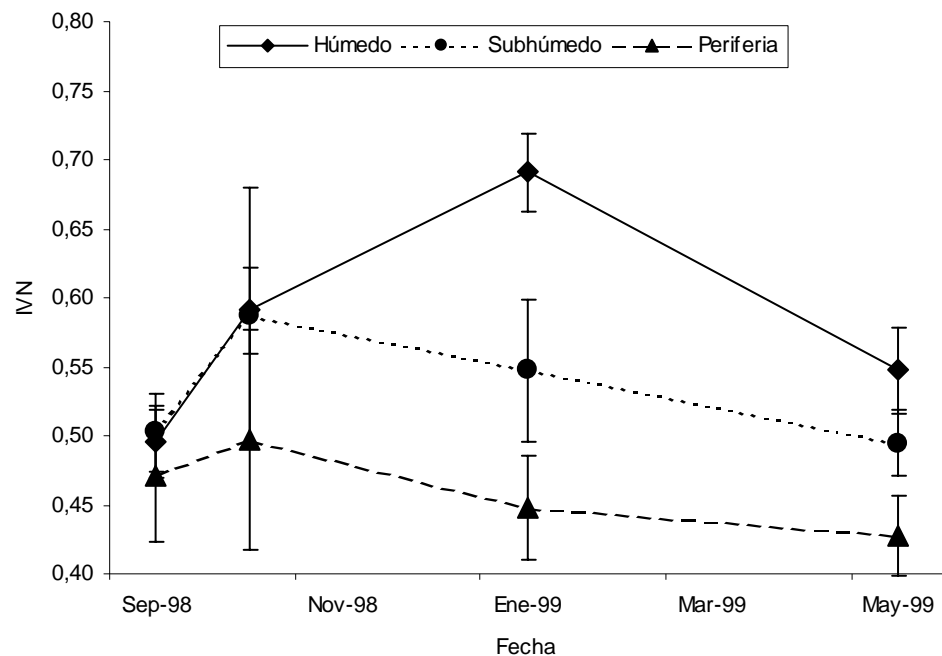


Figura 4.3: Índice verde medio por sector del mallín durante la temporada de crecimiento 1998/99. Las barras representan su desvío estándar (n=6; 5 y 6 para los sectores húmedo, subhúmedo y periférico respectivamente).

Estos resultados definen una marcha estacional contrastante entre los sectores del mallín. La periferia fue el sector con valores de intercepción de luz (inferida a partir del IVN) más bajos y con una disminución estacional más temprana. El sector húmedo mostró valores más altos y los mantuvo por más tiempo, hasta bien entrado el verano. Finalmente, el subhúmedo tuvo un comportamiento intermedio. La biomasa viva mostró una dinámica similar (Figura 4.4) a la mostrada por el IVN.

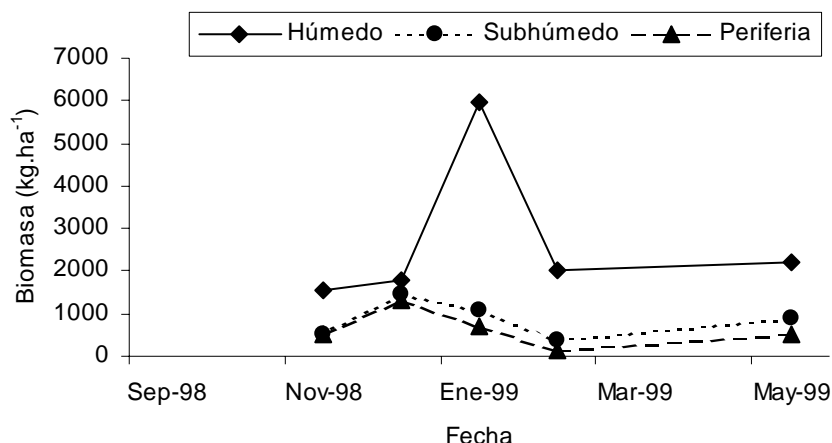


Figura 4.4: Dinámica de la biomasa viva por sector del mallín El Tacho durante la temporada de crecimiento 1998/99.

### Discusión

El IVN explicó casi totalmente la variación de la PPNA entre tres sectores y dos fechas, luego de extraer el valor extremo, a partir de un modelo lineal. Este resultado coincide con los obtenidos en juncales húmedos de la tundra (Boelman et al. 2003) y pastizales templados de sudamérica (Paruelo et al. 2000a y 2004), con rangos de PPNA similares. Considerando que el modelo fue obtenido a partir de información espacial y temporal, éste permitiría estimar la PPNA del mallín sin definir previamente los sectores y no necesitaría calibraciones anuales. Además, teniendo en cuenta que se construyó eliminando el valor más alto de PPNA, el modelo resultante presenta una pendiente menor y constante a lo largo del rango evaluado, por lo tanto permitiría inferir una tendencia a la subestimación de la PPNA. Esto permitiría su aplicación para el ajuste de la carga animal, aún sin validarlo, sin riesgo de sobrepastorear al sistema, pero con eventuales errores de ineficiencia de utilización.

El mejor ajuste obtenido con los valores de PPNA estimados a partir del pico de biomasa total, respecto del pico de biomasa viva, podría deberse a la falta de una marcada estacionalidad de la vegetación del mallín o a la ocurrencia del pico de crecimiento en diferentes momentos para cada sector del mallín. La presencia de material muerto en pie también podría disminuir la capacidad del IVN de reflejar la biomasa viva presente en el momento de máximo crecimiento de la vegetación.

Piñeiro et al. (2006) señalan algunas limitaciones para la aplicación de modelos que relacionen directamente la PPNA con el IVN. Estos autores indican su utilidad en pastizales donde el IVN esté correlacionado con la eficiencia del uso de la luz y la radiación fotosintéticamente activa. De lo contrario se necesitarían modelos más complejos para obtener resultados confiables. En este trabajo no se han analizado esas variables. Sin embargo el valor extremo de PPNA observado mostró una limitación del IVN para estimar dichos valores. El mejor ajuste obtenido con el pico de biomasa total respecto del pico de biomasa viva también señalaría la limitación del IVN para estimar la PPNA. Hasta el momento del pico de biomasa viva posiblemente la vegetación presenta las

mejores condiciones para el crecimiento y, por lo tanto, los mayores valores de eficiencia del uso de la luz. A partir de ese momento la acumulación de material disminuiría la capacidad de crecimiento por lo que el pico de biomasa total compensaría valores altos al inicio con bajos al final, que presentarían una menor restricción para ser estimados por el IVN.

Las variaciones temporales del IVN del mallín obtenidas con las imágenes Landsat TM coinciden con lo obtenido para la biomasa viva. También con lo observado por Paruelo et al. (2004) en el NO de Patagonia. Los valores de IVN, los períodos de incremento y de descenso son similares, a pesar de que trabajaron sobre una serie de 20 años de imágenes AVHRR/NOAA, que presentaban mucho mayor tamaño de pixel (64 km<sup>2</sup>). La coincidencia de ambas fuentes de información permitiría su combinación para, a partir de las ventajas que ofrece cada una, mejorar las posibilidades de estudio y manejo de los mallines. Paruelo et al. (2000a) señalan esta combinación como una buena alternativa para el monitoreo de la producción de pastizales de la pampa deprimida. La disponibilidad de series temporales de imágenes satelitales, combinada con información ambiental, permitiría, en un corto plazo, indagar acerca de los controles de la PPNA. Además, a partir de la evolución de la PPNA, cuantificar el impacto de la degradación que se observa en los mallines.

En el estudio realizado a escala regional, Paruelo et al. (2004) resaltan la menor estacionalidad y ocurrencia posterior del pico de crecimiento de mallines y bosques respecto de los ambientes más xéricos. Dicho comportamiento, observado entre unidades fisonómicas, se estaría repitiendo dentro del mallín, por cuanto el sector húmedo también presenta un período de crecimiento más extendido y un pico de crecimiento posterior que los sectores del mallín más secos. Esto se debería al mayor período de disponibilidad de agua en el sector húmedo, vinculado a la menor profundidad de la napa freática y a los aportes subsuperficiales desde sectores más altos (Burgos et al. 1998, Paruelo et al. 2000b).

La mayor disponibilidad hídrica durante el período estival, de temperaturas más altas, favorecería una mayor eficiencia en el uso de la luz en la vegetación del sector húmedo del mallín. La ocurrencia o no de la combinación óptima de ambos factores produciría una variación interanual de la eficiencia en el uso de la luz, insinuada por la relación no lineal obtenida utilizando todos los valores de PPNA e IVN. Para cuatro tipos de bosques en EE.UU. Ahl et al. (2004) encontraron diferencias entre años en la eficiencia del uso de la luz. Bartlett et al. (1990) señalan, para un pastizal de *Spartina alterniflora*, a la temperatura como el principal factor que afecta la eficiencia de conversión fotosintética, que duplica su valor en el rango analizado, seguido por la radiación incidente y otros factores ambientales. Turner et al. (2003) señalan a esos factores como reguladores de la eficiencia del uso de la luz y sugieren diferencias entre biomas en los patrones temporales de variación y los valores medio y máximo. La obtención en los mallines de patrones observados a diferentes escalas los convierte en una alternativa de manejo más sencilla para estudiar los factores asociados a esos patrones y que ofrecería un menor riesgo para el escalamiento de los resultados.



## **Conclusiones**

La dinámica estacional del IVN fue contrastante entre los sectores de mallín y coincidió con la dinámica de la biomasa viva. Los picos y períodos de crecimiento de la vegetación disminuyen del centro a la periferia del mallín.

La variación espacial y temporal de la PPNA del mallín, al igual que en otros ambientes, puede ser estimada a partir del IVN. La utilización del modelo obtenido permitirá contar con una herramienta sencilla para el manejo de estos ambientes.

## Capítulo 5

### Conclusiones generales

## ***Principales resultados***

Los sectores de los mallines, definidos a partir de características fisonómico-florísticas, fueron florística y edáficamente muy diferentes, lo cual estaría vinculado al régimen hídrico. Los mallines fueron también diferentes florísticamente, lo cual estaría posiblemente relacionado con el uso y las condiciones ambientales.

El método de rendimiento comparativo demostró ser apropiado para la estimación de la biomasa en estos ambientes. Diferentes métodos de cálculo de la PPNA arrojaron valores altamente correlacionados. Por lo tanto, cualquiera de ellos podría aplicarse a mallines.

Los sectores de los mallines también difirieron en su PPNA, particularmente los sectores extremos, lo cual sugiere un gradiente de producción desde el centro a la periferia del mallín. Los mallines presentaron además grandes diferencias de PPNA, ya que el mallín más productivo produjo en promedio 2,5 veces más que el menos productivo. La PPNA también varió entre años, pero la magnitud de la variabilidad no estuvo relacionada con el valor medio. Esta variabilidad fue superior a la observada en ambientes comparables del resto del mundo, pero semejante a la de pastizales con similar régimen de lluvias.

El IVN resultó un buen estimador de la PPNA del mallín y se obtuvo un modelo espacial y temporal que relaciona ambos parámetros. La dinámica estacional del IVN de los diferentes sectores de mallín fue contrastante. El sector húmedo presentó los valores más altos y por más tiempo, al contrario de la periferia.

## ***Discusión general***

Los mallines estudiados presentaron una gran variabilidad en sus características de vegetación y suelo. Estudios regionales han destacado esta variabilidad y la han relacionado con diferentes sustratos, regímenes hidrológicos y condiciones climáticas (Collantes y Faggi 1999) o con el paisaje en que se encuentran (Mazzoni y Vázquez 2004). De esta forma se clasificaron mallines en función de diferentes aspectos: pendiente (Iriondo et al. 1974), fisiografía (Movia 1987), régimen hídrico (Collantes et al. 1987), composición florística (Bonvissuto et al. 1992) o comportamiento espectral (Ayesa et al. 1999, Mazzoni y Vázquez 2004). Desde el punto de vista forrajero se los ha clasificado según su aptitud de uso (Ayesa et al. 1999) o condición del pastizal (Bonvissuto y Somlo 1998). En algunos casos, además, se han asociado valores medios o rangos de producción de forraje a cada tipo. Sin embargo, dentro de la variabilidad descrita, se pueden señalar algunas coincidencias entre las distintas clasificaciones. Por ejemplo, los mallines “secos o degradados” de Mazzoni y Vázquez (2004) se asemejan a los “pobres” de Bonvissuto y Somlo (1998) o las “vegas secas” de Collantes et al. (1987). Además hay características comunes a todas las clasificaciones: un gradiente de disponibilidad hídrica que determinaría sectores de mallín con características diferenciales de suelo y vegetación. Por un lado, se destaca un sector con mayor disponibilidad hídrica que presenta suelos con alto contenido de materia orgánica, escaso suelo descubierto y vegetación hidrófila de alta producción. Por otro lado, en el otro extremo, aparece un sector con menor disponibilidad de agua que presenta suelos con bajo contenido de materia

orgánica, incremento de suelo descubierto y vegetación xerófila de menor producción. Estas características y los patrones espaciales de producción coinciden con las descritas para ambientes similares de otras regiones de América (Huber et al. 1995, Clary 1995, Mc Lean et al. 1963, Castelli et al. 2000) y Europa (Olde Venterink et al. 2001, Rey Benayas y Scheiner 1993, Tallowin y Jefferson 1999).

En cada mallín las diferencias florísticas entre sectores tendieron a coincidir con las obtenidas en términos de PPNA. Las mayores diferencias florísticas se obtuvieron entre los sectores húmedo y periférico (Tabla 2.2), que fueron los que presentaron las principales diferencias de PPNA (Figura 3.1). En cambio el sector subhúmedo no siguió esa tendencia en todos los casos. En Media Luna la composición florística fue muy similar a la del sector húmedo y poco a la del subhúmedo, pero su PPNA fue intermedia entre ambos. En El Trébol fue florísticamente más parecido a la periferia que al húmedo, a la inversa de lo que ocurrió respecto a la PPNA. En El Tacho y Facundo las similitudes florísticas y productivas coincidieron. En el primero el sector subhúmedo fue más parecido al periférico, mientras que en el segundo fue similar a ambos florísticamente e intermedio en producción.

En cambio para las comparaciones entre sectores semejantes de diferentes mallines no se observó una relación clara entre la similitud florística y la PPNA. La primera fue baja para todos los sectores, mientras que la PPNA presentó coincidencias en los sectores húmedos de Media Luna y El Trébol, los subhúmedos de éstos y El Tacho o la periferia de El Trébol y Facundo (Figura 3.1). Sin embargo, al considerar las características de los suelos, se observa que la PPNA media por sector de mallín se correlacionó en forma positiva con el contenido de materia orgánica ( $r=0,83$ ,  $p<0,01$ ), nitrógeno total ( $r=0,8$ ,  $p<0,01$ ) y fósforo ( $r=0,61$ ,  $p=0,05$ ) del suelo. Este resultado era esperable y coincide con lo observado en ambientes similares naturales (Kooijman y Besse 2002, Kooijman et al. 1998, Olde Venterink et al. 2001) o modificados (Leps 1999, Mc Lean et al. 1963). Por el contrario la PPNA no mostró relación con el pH, contenido de sales o sodio del suelo ( $p>0,1$ ). Por lo general valores altos de estos factores deprimen la PPNA. En la tabla 2.5 se puede observar que tres de los cuatro mallines estudiados presentaban valores elevados de alguno de estos factores. A pesar de ello mostraron un amplio rango de PPNA, con valores superiores e inferiores al mallín que no presentó estas presuntas limitaciones. La falta de relación podría deberse a una variación estacional del contenido de sales del suelo. Durante el invierno se produce un lavado de sales del perfil, las cuales se van acumulando en el verano a medida que se evapora el agua en superficie. Por lo tanto en la época de máximo crecimiento de la vegetación (principios de verano) la concentración de sales en el suelo de algunos sectores de los mallines evaluados no sería lo suficientemente alta como para comprometer la producción. Posiblemente, a largo plazo, si la tasa de acumulación de sales supera a la de lavado, se llegue a concentraciones que produzcan un cambio florístico y/o productivo en el mallín. Esto podría acelerarse en condiciones de sobrepastoreo, como sugieren Del Valle (1993) y Bonvissuto y Somlo (1998).

La variabilidad interanual de la producción fue muy alta en estos mallines patagónicos (Figura 3.2) y coincidió con la de pastizales de similar régimen de precipitaciones, pero no con los de similar producción media (Tabla 3.2). Esto señalaría que las precipitaciones tendrían gran importancia en la definición de la producción de estos ambientes en Patagonia, a pesar del aporte subsuperficial de agua que reciben. Esta influencia alcanzaría a todos los sectores del mallín, puesto que la variabilidad de la productividad fue similar entre ellos (Figura 3.2), y se produciría por dos vías: la duración del período de disponibilidad de agua

para las plantas y el lavado de sales del perfil del suelo. Estas dos vías podrían tener un efecto sinérgico, ya que la extensión del período de crecimiento, que permitiría aprovechar las mayores temperaturas de fines de primavera y verano, junto con las mejores condiciones de suelo, por la disminución del contenido de sales, redundaría en una mayor producción. Esto podría estar vinculado con la mayor eficiencia de conversión de la luz insinuada por la relación exponencial obtenida entre el IVN y la PPNA (Figura 4.1) y se produciría en años en los que se presenten ambas condiciones. Estudios más detallados permitirían detectar los factores que controlan los procesos vinculados a la producción.

El IVN mostró una dinámica estacional contrastante entre los sectores de mallín (Figura 4.3) similar a la observada para la biomasa viva (Figura 4.4). El sector húmedo presentó un pico de biomasa e IVN posterior y superior a los de los sectores subhúmedo y periférico. Esta coincidencia permitiría utilizar al IVN para el monitoreo de la actividad de la vegetación del mallín.

Ambas fuentes muestran, además, que las mayores tasas de crecimiento se presentan a fines de primavera, en los sectores más secos, y principios de verano, en el sector húmedo. Por lo tanto definir unidades de pastoreo homogéneas permitiría aprovechar en el momento oportuno cada sector del mallín. Se recomienda además la evaluación periódica de la producción de la vegetación, considerando su gran variabilidad interanual, para el ajuste de cargas. Para ello se probó la utilidad de métodos expeditivos como el método del rendimiento comparativo para la estimación de la biomasa y el índice verde normalizado para estimar la producción. Otra herramienta de manejo complementaria, que surge de la revisión de la literatura y observaciones a campo, es la utilización de especies indicadoras. La ausencia o disminución de la cobertura de especies claves [pastos finos (*Poa pratensis*, *Bromus sp*, etc.) y Trébol en el sector húmedo, *Festuca pallescens*, *Hordeum sp* en el periférico] y/o el incremento de especies indicadoras de degradación [*Caltha sagittata*, *Acaena sp* (abrojo), *Rumex crispus*, *Distichlis sp* en el sector húmedo y *Puccinellia pusilla*, *Nitrophila australis*, leña piedra (*Azorella sp*, *Acaena sp*) en el sector periférico] indicarían un sobreuso del recurso y la necesidad de disminuir la carga animal. Mayores estudios que contemplen el comportamiento de las especies bajo pastoreo permitirán definir estrategias de manejo que garanticen un uso sustentable de los mallines y la recuperación de aquellos degradados.

Humedales y mallines están recibiendo una gran atención por su aporte al balance de carbono. Cubren menos del 6% de la superficie terrestre y contienen un tercio del total de carbono acumulado en los suelos (Gorham 1991). Emiten metano y dióxido de carbono a partir de la degradación de los compuestos del suelo y fijan carbono a través de la fotosíntesis y la acumulación de materia orgánica en el suelo. Las emisiones se incrementan (Chimner et al. 2002) y la fijación disminuye (Hong et al. 2002) en condiciones de sequía por menores precipitaciones o el descenso de la napa freática. El drenaje para uso agrícola, la canalización para riego, la forestación y la formación de cárcavas por mal manejo del pastoreo producen el descenso de la napa y, por lo tanto, contribuyen a la emisión de gases invernadero. Un adecuado manejo y la restauración de mallines y humedales aportaría a la mitigación de gases invernadero en una forma más estable que las forestaciones (Whiting y Chanton 2001). La posibilidad de estimar la producción a partir de imágenes satelitales, combinada con la disponibilidad de series temporales de éstas, permitiría cuantificar el impacto de la degradación de los mallines en unidades de carbono.

## Bibliografía

- Ahl, D. E.; S. T. Gower; D. S. Mackay; S. N. Burrows; J. M. Norman y G. R. Diak. 2004. Heterogeneity of light use efficiency in a northern Wisconsin forest: implications for modeling net primary production with remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 93: 168-178.
- Anchorena, J.; A. Cingolani; E. Livraghi; M. B. Collantes y S. Stoffella. 2001. Manejo del pastoreo de ovejas en Tierra del Fuego. CONICET INTA. Edipubli S.A., Buenos Aires, AR.
- Ayesa, J.; D. Bran; C. López; A. Marcolín y D. Barrios. 1999. Aplicación de la teledetección para la caracterización y clasificación utilitaria de valles y mallines. *Revista Argentina de Producción Animal* 19: 133-138.
- Bartlett, D. S.; G. J. Whiting y J. M. Hartman. 1990. Use of vegetation indices to estimate intercepted solar radiation and net carbon dioxide exchange of a grass canopy. *Remote Sensing of Environment* 30: 115-128.
- Beeskow, A. M.; H. F. del Valle y C. M. Rostagno. 1987. Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la provincia del Chubut. CENPAT (CONICET) – SECYT (Regional Patagonia). 184 pp.
- Bernáldez, F. G. y J. M. Rey Benayas. 1992. Geochemical relationships between groundwater and wetland soils and their effects on vegetation in central Spain. *Geoderma* 55: 273-288.
- Bledsoe, B. P. y T. H. Shear. 2000. Vegetation along hydrologic and edaphic gradients in a North Carolina coastal plain creek bottom and implications for restoration. *Wetlands* 20: 126-147.
- Boelcke, O. 1957. Comunidades herbáceas del norte de Patagonia y su relación con la ganadería. *Revista de Investigaciones Agrícolas* 11: 5-98.
- Boelman, N. T.; M. Stieglitz; H. M. Rueth; M. Sommerkorn; K. L. Griffin; G. R. Shaver y J. A. Gamon. 2003. Response of NDVI, biomass, and ecosystem gas exchange to long-term warming and fertilization in wet sedge tundra. *Oecologia* 135: 414-421.
- Bonino, N.; G. Bonvissuto; A. Pelliza Sbriler y R. Somlo. 1985. Hábitos alimentarios de los herbívoros en la zona central del área ecológica Sierras y mesetas Occidentales de Patagonia. *Revista Argentina de Producción Animal* 6: 275-287.
- Bonvisutto, G. L. y R. Somlo. 1998. Guías de condición para los campos naturales de Precordillera y Sierras y Mesetas de Patagonia. INTA Centro Regional Patagonia Norte - EEA Bariloche. 35 pp.
- Bonvisutto, G. L.; R. Somlo; J. Ayesa; M. L. Lanciotti y E. Moricz de Tecso. 1992. La condición de mallines del área ecológica Sierras y Mesetas de Patagonia. *Revista Argentina de Producción Animal* 12: 391-400.
- Borrelli, P. 2001. Producción animal sobre pastizales naturales. En: Borrelli, P. y G. Oliva, editores. *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral*. INTA Reg. Pat. Sur. Cap. 5. pp 131-162.
- Bowman, R. A.; D. M. Mueller y W. J. McGuinnies. 1985. Soil and vegetation relationships in a Central Plains Saltgrass Meadow. *Journal of Range Management* 38: 325-328.
- Briggs, J. M. y A. K. Knapp. 1995. Interannual variability in primary production in tallgrass prairie: climate, soil moisture, topographic position, and fire as determinants of aboveground biomass. *American Journal of Botany* 82: 1024-1030.
- Burgos, A. L.; M. L. Lanciotti; G. L. Bonvisutto. 1996. Evaluación del balance hídrico en un mallín precordillerano. *Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Santa Rosa, La Pampa.

- Burke, M. K.; B. G. Lockaby y W. H. Conner. 1999. Aboveground production and nutrient circulation along a flooding gradient in a South Carolina Coastal Plain forest. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1402-1418.
- Castelli, R. M.; J. C. Chambers y R. J. Tausch. 2000. Soil-plant relations along a soil-water gradient in Great Basin riparian meadows. *Wetlands* 20: 251-266.
- Catchpole, W. R. y C. J. Wheeler. 1992. Estimating plant biomass: a review of techniques. *Australian Journal of Ecology* 17: 121-131.
- Chambers, J. C.; R. R. Blank; D. C. Zamudio y R. J. Tausch. 1999. Central Nevada riparian areas: Physical and chemical properties of meadow soils. *Journal of Range Management* 52: 92-99.
- Chavez, P. S. jr. 1996. Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*. 62: 1025-1036.
- Chimner, R. A.; D. J. Cooper y W. J. Parton. 2002. Modeling carbon accumulation in rocky mountain fens. *Wetlands* 22: 100-110.
- Clary, W. P. 1995. Vegetation and soil responses to grazing simulation on riparian meadows. *Journal of Range Management* 48: 18-25.
- Collantes, M. B. 1987. Las comunidades edáficas de la región magallánica de Tierra del Fuego. XII Reunión de la Asociación Argentina de Ecología, Bahía Blanca.
- Collantes, M. B. y A. M. Faggi. 1999. Los humedales del sur de Sudamérica. En: Malvarez A. I., editora. *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe -ORCYT - Montevideo – Uruguay. pp. 14-24.
- Cremona, M. V.; M. L. Lanciotti y G. L. Bonvisutto. 1996. Dinámica del agua en mallines con diferente condición de pastizal en Patagonia norte. *Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Santa Rosa, La Pampa.
- Del Valle, H. F. 1993. Mallines de ambiente árido. Pradera salina y estepa arbustivo-graminosa en el NW del Chubut. En: J. M. Paruelo; M. B. Bertiller; T. M. Schlitchter y F. Coronato, editores. *Secuencias de deterioro en distintos ambientes patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones*. Convenio Argentino-Alemania de Cooperación Técnica INTA-GTZ. Proyecto LUDEPA-SME. pp. 31-39.
- Dovel, R. L. 1996. Cutting height effects on wetland meadow forage yield and quality. *Journal of Range Management* 49: 151-156.
- Friedel, M. H.; V. H. Chewings y G. N. Bastin. 1988. The use of comparative yield and dry-weight-rank techniques for monitoring arid rangeland. *Journal of Range Management* 41: 430-435.
- Golluscio, R. A.; V. A. Deregibus y J. M. Paruelo. 1998. Sustainability and range management in the Patagonian steppes. *Ecología Austral* 8: 265-284.
- Gorham, E. 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climate warming. *Ecological Applications* 1: 182-195.
- Gurevitch, J. y S. T. Chester, Jr. 1986. Analysis of repeated measures experiments. *Ecology* 67: 251-255.
- Hackney, C. T.; S. Brady; L. Stemmy; M. Boris; C. Dennis; T. Hancock; M. O'Bryon; C. Tilton y E. Barbee. 1996. Does intertidal vegetation indicate specific soil and hydrologic conditions. *Wetlands* 16: 89-94.
- Holm, A. McR.; S. W. Cridland y M. L. Roderick. 2003. The use of time-integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia. *Remote Sensing of Environment* 85: 145-158.
- Hong, Z.; G. Shangyu y Z. Qihong. 2002. Responses of NPP of salinized meadows to global change in hyperarid regions. *Journal of Arid Environments* 50: 489-498.



- Huber, S. A.; M. B. Judkins; L. J. Krysl; T. J. Svejcar; B. W. Hess y D. W. Holcombe. 1995. Cattle grazing a riparian mountain meadow: effects of low and moderate stocking density on nutrition, behavior, diet selection, and plant growth response. *Journal of Animal Science* 73: 3752-3765.
- Huss, D. L.; A. Bernardón; D. L. Anderson y J. M. Brun. 1986. Principios de manejo de praderas naturales 2º Edición. INTA-FAO. p. 121.
- InfoStat. 2004. InfoStat versión 2004. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Iriondo, M.; J. A. de Orellana y J. J. Neiff. 1974. Sobre el concepto de "mallín" cordillerano. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 5: 45-52.
- Jobbagy, E. G. y O. E. Sala. 2000. Control of grass and shrub aboveground production in the patagonian steppe. *Ecological Applications* 10: 541-549.
- Jobbagy, E. G.; O. E. Sala y J. M. Paruelo. 2002. Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology* 83: 307-319.
- Jouve, V. 2003. Productividad Primaria Neta Aérea de las estepas patagónicas: controles ambientales y estimación mediante sensores remotos. Tesis MSc. EPG Alberto Soriano. FAUBA
- Kirkham F. W. y R. J. Wilkins. 1994. The productivity and response to inorganic fertilizers of species-rich wetland hay meadows on the Somerset Moors: the effect of nitrogen, phosphorus and potassium on herbage production. *Grass and Forage Science* 49: 163-175.
- Knapp, A. K. y M. D. Smith. 2001. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. *Science* 291: 481-484.
- Knapp, A. K.; J. M. Briggs y J. K. Koelliker. 2001. Frequency and extent of water limitation to primary production in a mesic temperate grassland. *Ecosystems* 4: 19-28.
- Kooijman, A. M. y M. Besse. 2002. The higher availability of N and P in lime-poor than in lime-rich coastal dunes in the Netherlands. *Journal of Ecology* 90: 394-403.
- Kooijman, A. M.; J. C. R. Dopheide; J. Sevink; I. Takken y J. M. Verstraten. 1998. Nutrient limitations and their implications on the effects of atmospheric deposition in coastal dunes; lime-poor and lime-rich sites in the Netherlands. *Journal of Ecology* 86: 511-526.
- Lanciotti, M. L.; M. V. Cremona y A. L. Burgos. 1998. Evaluación del estado hídrico de mallines en una subcuenca de la Patagonia semiárida. *Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Villa Carlos Paz, Córdoba.
- Lauenroth, W. K. y O. E. Sala. 1992. Long-term forage production of North American shortgrass steppe. *Ecological Applications* 2: 237-403.
- León, R. J. C.; D. Bran; M. Collantes; J. M. Paruelo y A. Soriano. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral* 8: 125-144.
- Leps, J. 1999. Nutrient status, disturbance and competition: an experimental test of relationships in a wet meadow copy. *Journal of Vegetation Science* 10: 219-230.
- Maxwell, S. E. y H. D. Delaney. 1990. Designing experiments and analyzing data: a model comparison perspective. Wadsworth. Belmont, CA.
- Mazzoni, E. y M. Vázquez. 2004. Ecosistemas de mallines y paisajes de la Patagonia Austral (Provincia de Santa Cruz). INTA. 63 p.
- Mc Lean A., H. H. Nicholson y A. L. van Ryswyk. 1963. Growth, productivity and chemical composition of a sub-alpine meadow. *Journal of Range Management* 16: 235-240.

- Megonigal, J. P. y F. P. Day. 1992. Effects of flooding on root and shoot production of bald cypress in large experimental enclosures. *Ecology* 73: 1182-1193.
- Megonigal, J. P.; W. H. Conner; S. Kroeger y R. R. Sharitz. 1997. Aboveground production in southeastern floodplain forest: a test of the subsidy-stress hypothesis. *Ecology* 78: 370-384.
- Monteith, J. L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9: 747-766.
- Monteith, J. L. 1981. Climatic variation and the growth of crops. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 107: 749-774.
- Movia, C.; A. Soriano y R. J. C. León. 1987. La vegetación de la cuenca del Río Santa Cruz (provincia de Santa Cruz, Argentina). *Darwiniana* 28: 9-78.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, Inc. New York. p. 220.
- Oesterheld, M.; C. M. DiBella y H. Kerdtiles. 1998. Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate of rangelands. *Ecological Applications* 8: 207-212.
- Oesterheld, M.; J. Loreti; M. Semmartin y J. M. Paruelo. 1999. Grazing, fire, and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. En: L.R. Walker, editor. *Ecosystems of disturbed ground. Ecosystems of the world 16*. Elsevier, Amsterdam. pp. 287-306.
- Oesterheld, M.; J. Loreti; M. Semmartin y O.E. Sala. 2001. Inter-annual variation in primary production of a semi-arid grassland related to previous-year production. *Journal of Vegetation Science* 12: 137-142.
- Oesterheld, M.; O.E. Sala y S.J. McNaughton. 1992. Effect of animal husbandry on herbivore-carrying capacity at regional scale. *Nature* 356: 234-236.
- Olde Venterink, H.; M. J. Wassen; J. D. M. Belgers y J. T. A. Verhoeven. 2001. Control of environmental variables on species density in fens and meadows: importance of direct effects and effects through community biomass. *Journal of Ecology* 89: 1033-1040.
- Paruelo, J. M. y R. A. Golluscio. 1994. Range assessment using remote sensing in Northwest Patagonia (Argentina). *Journal of Range Management* 47: 498-502.
- Paruelo, J. M.; A. Beltrán; E. Jobbágy; O. E. Sala y R. A. Golluscio. 1998. The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral* 8: 85-101.
- Paruelo, J. M.; H. E. Epstein; W. K. Lauenroth y I. C. Burke. 1997. ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland region of the United States. *Ecology* 78: 953-958.
- Paruelo, J. M.; M. F. Garbulsky; J. P. Guerschman y M. Oesterheld. 1999(a). Caracterización regional de los recursos forrajeros de zonas templadas de Argentina mediante imágenes satelitarias. *Revista Argentina de Producción Animal* 19: 125-131.
- Paruelo, J. M.; M. Oesterheld; C. M. DiBella; M. Arzadum; J. Lafontaine; M. Cahuepé y M. Rebella. 2000(a). Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. *Applied Vegetation Science* 3: 189-195.
- Paruelo, J. M.; O. E. Sala y A. B. Beltrán. 2000(b). Long-term dynamics of water and carbon in semi-arid ecosystem: a gradient analysis in the Patagonian steppe. *Plant Ecology* 150: 133-143.
- Paruelo, J. M.; R. A. Golluscio; J. P. Guerschman; A. Cesa; V. V. Jouve y M. F. Garbulsky. 2004. Regional scale relationships between ecosystem structure

- and functioning: the case of the Patagonian steppes. *Global Ecology and Biogeography* 13: 385-395.
- Paruelo, J. M.; W. K. Lauenroth; I. C. Burke y O. E. Sala. 1999(b). Grassland precipitation-use efficiency varies across a resource gradient. *Ecosystems* 2: 64-68.
- Piñeiro, G.; M. Oesterheld y J. M. Paruelo. 2006. Seasonal variation in aboveground production and radiation-use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. *Ecosystems* 9: 357-373.
- Piñeiro, G.; S. Perelman; J. P. Guerschman y J. M. Paruelo. 2002. Cómo evaluar nuestros modelos: Predichos Vs. Observados u Observados Vs. Predichos. Resúmenes del V Congreso Latinoamericano de Estadística. 28-1 Noviembre, 2002. Caseros, Argentina. pp 108.
- Potter, C. S.; J. T. Randerson; C. B. Field; P. A. Matson; P. Vitousek; H. A. Mooney y S. Klooster. 1993. Terrestrial ecosystem production: a process model based on a global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycles* 7: 811-841.
- Reese, G. A.; R. L. Bayn y N. E. West. 1980. Evaluation of double-sampling estimators of subalpine herbage production. *Journal of Range Management* 33: 300-306.
- Rey Benayas, J. M. y S. M. Scheiner. 1993. Diversity patterns of wet meadows along geochemical gradients in central Spain. *Journal of Vegetation Science* 4: 103-108.
- Rey Benayas, J. M.; M. G. Sánchez Colomer; C. Levassor y I. Vázquez Doderó. 1998. The role of wet grasslands in biological conservation in Mediterranean landscapes. En: C. B. Joyce y P. M. Wade, editores. *European Wet Grasslands: Biodiversity, Management and Restoration*. John Wiley & Sons Ltd. pp. 61-72.
- Ruimy, A.; B. Saugier y G. Dedieu. 1994. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *Journal of Geophysical Research* 99: 5263-5283.
- Sala, O. E. y A. T. Austin. 2000. Methods of estimating aboveground net primary productivity. En: Sala, O. E.; R. B. Jackson; H. A. Mooney y R. W. Howarth, editores. *Methods in ecosystem science*. Springer, New York. pp. 31-43.
- Sala, O. E.; W. J. Parton; L. A. Joyce y W. K. Lauenroth. 1988. Primary production of the Central Grassland region of the United States. *Ecology* 69: 40-45.
- Scurlock, J. M. O.; K. Johnson y R. J. Olson. 2002. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology* 8: 736-753.
- Singh, J. S.; W. K. Lauenroth y R. K. Steinhorst. 1975. Review and assessment of various techniques for estimating net aerial primary production in grasslands from harvest data. *The Botanical Review* 41:181-232.
- Smoliak, S. 1986. Influence of climatic conditions on production of *Stipa-Bouteloua* prairie over a 50-year period. *Journal of Range Management* 39: 100-103.
- Soriano, A. 1956. Los Distritos Florísticos de la Provincia Patagónica. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 10: 323-347.
- Tadmor, N. H.; A. Brieghet; I. Noy-Meir; R. W. Benjamin y E. Eyal. 1975. An evaluation of the calibrated weight-estimate method for measuring production in annual vegetation. *Journal of Range Management* 28: 65-69.
- Tallowin, J. R. B. y R. G. Jefferson. 1999. Hay production from lowland semi-natural grasslands: a review of implications for ruminant livestock systems. *Grass and Forage Science* 54: 99-115.

- Tothill, J. C.; J. N. G. Hargreaves; R. M. Jones y C. K. McDonald. 1992. BOTANAL – A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. 1. Field sampling. CSIRO Austr. Div. Of Trop. Crops & Past., Tropical Agronomy. Technical Memorandum N° 78
- Tucker S. T. y W. C. Leininger. 1990. Differences in riparian vegetation structure between grazed areas and exclosures. *Journal of Range Management* 43: 295-299.
- Turner, D. P.; S. Urbanski; D. Bremer; S. C. Wofsy; T. Meyers; S. T. Gower y M. Gregory. 2003. A cross-biome comparison of daily light use efficiency for gross primary production. *Global Change Biology* 9: 383-395.
- Vázquez de Aldana, B. R.; A. García Ciudad; M. E. Pérez Corona y B. García Criado. 2000. Nutritional quality of semi-arid grassland in western Spain over 10-year period: changes in chemical composition of grasses, legumes and forbs. *Grass and Forage Science* 55: 209-220.
- Venterink, H. Olde; M. J. Wassen; J. D. M. Belgers y J. T. A. Verhoeven. 2001. Control of environmental variables on species density in fens and meadows: importance of direct effects and effects through community biomass. *Journal of Ecology* 89: 1033-1040.
- von Ende, C. N. 1993. Repeated-measures analysis: growth and other time-dependent measures. En: Scheiner, S. y J. Gurevitch, editores. *Design and analysis of ecological experiments*. Chapman & Hall Inc. pp. 113-137.
- Whingham, D.; M. Pittek; K. H. Hofmockel; T. Jordan y A. L. Pepin. 2002. Biomass and nutrient dynamics in restored wetlands on the outer coastal plain of Maryland, USA. *Wetlands* 22: 562-574.
- Whiting, G. J. y J. P. Chanton. 1993. Primary production control of methane emission from wetlands. *Nature* 364: 794-795.
- Woerner, L. y C. T. Hackney. 1997. Distribution of *Juncus roemerianus* in North Carolina tidal marshes: the importance of physical and biotic variables. *Wetlands* 17: 284-291.
- Yahdjian, M. L. 2004. Restricciones estructurales y biogeoquímicas de la productividad primaria neta aérea. Tesis Doctorado. EPG Alberto Soriano. FAUBA
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4<sup>o</sup> Edition. Prentice Hall. 663 p.

## Apéndice

Apéndice 1: Parámetros de los modelos de regresión lineal (biomasa =  $a + b \cdot$  estimación) por fecha de muestreo y fracción vegetal correspondientes a los diferentes mallines.

Mallín	Fecha	Biomasa	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	a	b	p
El Tacho	25/11/94	Verde	4	0,93	0,89	-1542,03	1437,78	0,0380
El Tacho	17/01/95	Total	5	0,99	0,99	-3627,62	3307,65	0,0003
El Tacho	17/01/95	Verde	5	0,98	0,98	-3378,52	2841,03	0,0011
El Tacho	12/03/95	Total	5	0,94	0,92	-2064,17	2802,79	0,0058
El Tacho	12/03/95	Verde	4	0,99	0,98	-1094,21	1253,39	0,0068
El Tacho	12/04/95	Total	5	0,94	0,92	-2887,56	2695,70	0,0058
El Tacho	12/04/95	Verde	4	0,99	0,99	-620,06	560,81	0,0035
El Tacho	10/11/95	Seco	4	0,98	0,96	-8947,49	9374,52	0,0120
El Tacho	10/11/95	Total	4	0,95	0,93	-9690,75	10415,00	0,0247
El Tacho	10/01/96	Seco	5	0,84	0,78	-4631,40	422,00	0,0290
El Tacho	10/01/96	Total	5	0,91	0,88	-4697,30	517,50	0,0120
El Tacho	17/02/96	Seco	5	0,93	0,91	-1536,61	1762,70	0,0072
El Tacho	17/02/96	Verde	5	0,98	0,97	-5558,34	5022,44	0,0012
El Tacho	26/04/96	Seco	5	0,92	0,90	-2352,88	2005,33	0,0091
El Tacho	26/04/96	Verde	5	0,86	0,81	-620,23	75,07	0,0238
El Tacho	26/10/96	Seco	5	0,97	0,96	-8495,96	832,35	0,0026
El Tacho	26/10/96	Total	5	0,95	0,93	-8371,43	908,19	0,0054
El Tacho	30/11/96	Total	5	0,97	0,96	-11039,38	9863,44	0,0021
El Tacho	30/11/96	Verde	5	0,94	0,91	-2702,47	3066,10	0,0071
El Tacho	17/01/97	Total	5	0,94	0,92	-9113,49	10047,74	0,0067
El Tacho	17/01/97	Verde	5	0,88	0,84	-5802,02	5334,61	0,0177
El Tacho	14/02/97	Total	4	0,95	0,92	-2053,24	5354,39	0,0272
El Tacho	14/02/97	Verde	4	0,93	0,90	-2486,77	2428,80	0,0338
El Tacho	10/03/97	Seco	5	0,89	0,85	-2810,57	4725,39	0,0169
El Tacho	10/03/97	Verde	5	0,88	0,84	-1786,86	1941,26	0,0175
El Tacho	05/11/97	Total	5	0,92	0,89	-3619,45	407,21	0,0099
El Tacho	05/11/97	Verde	5	0,97	0,97	-1208,84	138,05	0,0018
El Tacho	07/12/97	Seco	4	0,97	0,96	-3934,6	360,3	0,0134
El Tacho	07/12/97	Verde	4	0,96	0,93	-5039,6	397,63	0,022
El Tacho	22/12/97	Total	5	0,87	0,83	-3630,22	424,29	0,0207
El Tacho	22/12/97	Verde	5	0,96	0,94	-3660,79	356,36	0,0039
El Tacho	15/01/98	Total	5	0,96	0,95	-2815,26	385,43	0,0029
El Tacho	15/01/98	Verde	5	0,96	0,95	-4804,56	381,12	0,0031
El Tacho	19/02/98	Seco	14	0,85	0,83	-1272,99	229,86	<0,0001
El Tacho	19/02/98	Total	14	0,83	0,81	-2137,52	341,31	<0,0001
El Tacho	22/04/98	Total	4	0,91	0,86	-7743,7	826,38	0,0465
El Tacho	22/04/98	Verde	4	0,98	0,97	-915,23	89,74	0,0117
El Tacho	03/11/98	Total	4	0,93	0,89	-5249,02	557,98	0,0368
El Tacho	03/11/98	Verde	5	0,98	0,97	-2960,65	291,11	0,0016
El Tacho	03/12/98	Seco	5	0,83	0,77	-3598,89	306,25	0,0319
El Tacho	03/12/98	Total	5	0,88	0,84	-3340,30	393,57	0,0175
El Tacho	13/01/99	Total	5	0,96	0,94	-17755,15	1731,19	0,0040
El Tacho	13/01/99	Verde	5	0,93	0,91	-15522,16	1461,75	0,0074
El Tacho	17/02/99	Total	5	0,96	0,95	-7603,22	823,74	0,0036
El Tacho	17/02/99	Verde	5	0,96	0,95	-5555,05	512,81	0,0029
El Tacho	02/05/99	Seco	5	0,99	0,98	-4468,85	488,33	0,0007
El Tacho	02/05/99	Verde	5	0,93	0,91	-5185,60	519,10	0,0082
M. Luna	19/02/98	Seco	14	0,85	0,83	-1272,99	229,86	<0,0001
M. Luna	19/02/98	Total	14	0,83	0,81	-2137,52	341,31	<0,0001

Apéndice 1 (continuación): Parámetros de los modelos de regresión lineal (biomasa = a + b \* estimación) por fecha de muestreo y fracción vegetal correspondientes a los diferentes mallines.

Mallín	Fecha	Biomasa	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	a	b	p
M. Luna	21/05/98	Seco	5	0,95	0,93	-2427,03	352,82	0,0046
M. Luna	21/05/98	Total	5	0,93	0,91	-2721,27	421,63	0,0077
M. Luna	04/11/98	Total	5	0,87	0,83	-8012,79	789,15	0,0202
M. Luna	04/11/98	Verde	5	0,79	0,72	-4713,59	452,29	0,0425
M. Luna	03/12/98	Total	3	1,00	1,00	-1552,29	216,29	0,0247
M. Luna	03/12/98	Verde	4	0,98	0,97	-3771,73	367,68	0,0111
M. Luna	14/01/99	Total	4	0,92	0,88	-5687,50	718,50	0,0417
M. Luna	14/01/99	Verde	4	0,97	0,95	-5421,96	669,11	0,0164
M. Luna	19/02/99	Total	5	0,99	0,99	-14220,91	1324,35	0,0004
M. Luna	19/02/99	Verde	5	0,96	0,94	-10972,04	1014,33	0,0039
M. Luna	03/05/99	Seco	5	1,00	1,00	-11309,73	1092,18	0,0001
M. Luna	03/05/99	Verde	5	0,93	0,91	-9579,71	959,14	0,0078
El Trébol	17/01/98	Total	4	0,96	0,93	-8284,05	774,40	0,0221
El Trébol	17/01/98	Verde	4	0,95	0,92	-6997,72	622,18	0,0257
El Trébol	21/02/98	Seco	14	0,85	0,83	-1272,99	229,86	<0,0001
El Trébol	21/02/98	Total	14	0,83	0,81	-2137,52	341,31	<0,0001
El Trébol	19/05/98	Seco	4	0,96	0,94	-4720,33	494,31	0,0190
El Trébol	19/05/98	Total	4	0,96	0,94	-4782,03	502,34	0,0215
El Trébol	06/11/98	Total	4	0,94	0,92	-4907,41	534,92	0,0280
El Trébol	06/11/98	Verde	5	0,93	0,91	-2724,75	278,88	0,0081
El Trébol	04/12/98	Total	5	0,98	0,98	-5950,71	628,12	0,0008
El Trébol	04/12/98	Verde	5	0,93	0,90	-6354,61	614,54	0,0087
El Trébol	15/01/99	Total	5	0,78	0,71	-7850,14	847,11	0,0464
El Trébol	15/01/99	Verde	5	0,95	0,93	-7638,59	734,68	0,0049
El Trébol	21/02/99	Total	5	0,90	0,86	-9629,07	970,85	0,0149
El Trébol	21/02/99	Verde	5	0,96	0,95	-4789,99	481,55	0,0032
Facundo	21/02/98	Seco	14	0,85	0,83	-1272,99	229,86	<0,0001
Facundo	21/02/98	Total	14	0,83	0,81	-2137,52	341,31	<0,0001
Facundo	20/05/98	Total	4	0,93	0,89	-6505,00	628,60	0,0359
Facundo	20/05/98	Verde	4	0,98	0,97	-1977,75	183,03	0,0096
Facundo	04/11/98	Total	5	0,98	0,98	-3541,10	375,59	0,0009
Facundo	04/11/98	Verde	5	0,98	0,97	-1620,39	178,69	0,0012
Facundo	15/01/99	Total	5	0,89	0,86	-8567,24	929,12	0,0157
Facundo	15/01/99	Verde	5	0,87	0,82	-3654,93	453,26	0,0217
Facundo	17/02/99	Total	5	0,99	0,99	-3215,12	366,85	0,0002
Facundo	17/02/99	Verde	5	0,95	0,94	-3260,29	343,80	0,0044
Facundo	04/05/99	Total	5	0,87	0,82	-18156,85	1787,38	0,0210
Facundo	04/05/99	Verde	3	1,00	0,99	-10278,84	1064,10	0,0343