

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

**Tasa de crecimiento y predicción de la composición nutricional por
Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano de praderas
permanentes en tres zonas agro ecológicas de la Décima Región**

Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al grado de
Licenciado en Agronomía.

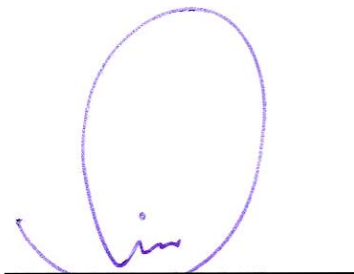
Gerardo Manuel Ramírez Silva

VALDIVIA-CHILE

2007

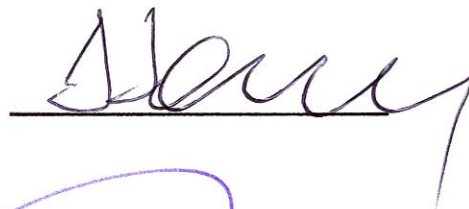
Profesor Patrocinante

René Anrique G.
Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.

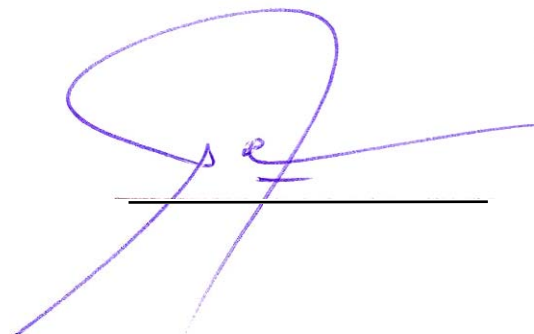


Profesores Informantes

Daniel Alomar C.
Ing. Agr., M. Sc.



Oscar Balocchi L.
Ing. Agr., M.Sc., Ph. D.



INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1	Descripción de las praderas	3
2.1.1	Características de las praderas	3
2.1.2	Composición nutricional de las praderas	3
2.1.2.1	Proteína cruda y energía metabolizable	5
2.1.2.2	Carbohidratos solubles	6
2.2	Tasa de crecimiento de praderas permanentes	7
2.2.1	Variación de la tasa de crecimiento de praderas permanentes	7
2.3	Análisis de laboratorio	12
2.3.1	Espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS)	12
3	MATERIAL Y METODOS	15
3.1	Localización y período de realización del estudio	15
3.2	Tipo de praderas	16
3.2.1	Praderas permanentes	16
3.3	Diseño de las parcelas	17
3.3.1	Calendario de cortes y metodología de toma de muestras	18
3.4	Manejo de fertilización	21
3.5	Evaluaciones de la pradera	23
3.5.1	Tasa de crecimiento y análisis de laboratorio	23
3.6	Modelo de predicción NIRS	25
3.6.1	Colección de espectros y calibración	25
3.6.2	Criterio estadístico de selección de ecuaciones	27

Capítulo	Página
3.6.3 Validación	29
3.7 Evaluaciones estadísticas	31
4 PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
4.1 Tasa de crecimiento	32
4.2 Composición nutricional	43
4.2.1 Evolución de los contenidos de EM y PB en las praderas de Valdivia, Osorno y Llanquihue	43
4.2.2 Materia seca	48
4.2.3 Proteína bruta	50
4.2.4 Proteína soluble	52
4.2.5 Energía metabolizable	53
4.2.6 Fibra detergente neutro	54
4.2.7 Fibra detergente ácido	56
4.2.8 Carbohidratos solubles	57
4.3 Ecuaciones de calibración NIRS	59
4.3.1 Proteína bruta	61
4.3.2 Proteína soluble	63
4.3.3 Energía metabolizable	65
4.3.4 Fibra detergente neutro	67
4.3.5 Fibra detergente ácido	69
4.3.6 Carbohidratos solubles	71
4.3.7 Materia seca	73
4.3.8 Cenizas totales	75
5 CONCLUSIONES	78
6 RESUMEN	80

Capítulo	Página
SUMMARY	83
7 BIBLIOGRAFIA	86
ANEXOS	91

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Calendario de corte para término de estación de invierno y estación de primavera para Valdivia	18
2	Criterio de corte utilizado en las exclusiones evaluadas para una misma parcela y entre parcelas, según estación de crecimiento	19
3	Calendario de cortes para Osorno y Llanquihue durante la estación de primavera	20
4	Calendario de cortes para Valdivia durante la estación de verano	20
5	Calendario de cortes para Osorno y Llanquihue durante la estación de verano	21
6	Análisis de suelo de tres parcelas de exclusión Proyecto FONDEF D03i-1151, Valdivia, Osorno y Llanquihue	22
7	Fertilización de mantención realizada en tres parcelas de exclusión proyecto FONDEF D03i-1151, Valdivia, Osorno y Llanquihue	23
8	Metodologías para la determinación de análisis químicos y sus respectivas referencias	24
9	Tasa de crecimiento y composición nutricional de la pradera (Valdivia, Vista Alegre, septiembre 2005- marzo 2006)	33
10	Tasa de crecimiento y composición nutricional de la pradera (Osorno, INIA Reméhue, septiembre 2005- marzo 2006)	34
11	Tasa de crecimiento y composición nutricional de la pradera (Llanquihue, sector Colegual, septiembre 2005- marzo 2006)	35

Cuadro		Página
12	Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para proteína bruta	62
13	Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para proteína soluble	64
14	Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para energía metabolizable	66
15	Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para fibra detergente neutro	68
16	Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para fibra detergente ácido	70
17	Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para carbohidratos solubles	72
18	Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para materia seca	74
19	Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para cenizas totales	76

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Evolución del valor nutritivo del forraje de acuerdo al estado fenológico de plantas de gramíneas	4
2 Evolución típica de los contenidos de energía metabolizable(EM) y proteína cruda (PC) en una pradera permanente del llano central de la Décima Región	5
3 Variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Valdivia	10
4 Variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Osorno	11
5 Variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Fresia-Casma	12
6 Diseño y distribución de parcelas de exclusión proyecto FONDEF D03i-1151	17
7 Tratamientos de las muestras frescas antes de ser sometidas a análisis químicos y NIRS	26
8 Tasa de crecimiento diaria (kg MS/há/día) de la pradera ubicada en Valdivia	36
9 Tasa de crecimiento diaria (kg MS/há/día) de la pradera ubicada en Osorno	37
10 Tasa de crecimiento diaria (kg MS/há/día) de la pradera ubicada en Llanquihue	37
11 Tasas de crecimiento diarias (kg MS/há/día) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue	42
12 Evolución del contenido de EM (Mcal/kg MS) y PB (% MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región	45

Figura		Página
13	Evolución del contenido de EM (Mcal/kg MS) y PB (% MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región	45
14	Evolución del contenido de EM (Mcal/kg MS) y PB (% MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región	46
15	Evolución del contenido de materia seca (%) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región	48
16	Evolución del contenido de proteína bruta (%) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región	50
17	Evolución del contenido de proteína soluble (% PB) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región	52
18	Evolución del contenido de energía metabolizable (Mcal/kg MS) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región	53
19	Evolución del contenido de fibra detergente neutro (%) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región	54
20	Evolución del contenido de fibra detergente ácido (%) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región	57
21	Evolución del contenido de carbohidratos solubles(g/kg MS) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región	59
22	Relación entre proteína bruta (%) y su predicción por NIRS	63
23	Relación entre proteína soluble (%) y su predicción por NIRS	65
24	Relación entre energía metabolizable (Mcal/kg MS) y su predicción por NIRS	66
25	Relación entre fibra detergente neutro (%) y su predicción por NIRS	69
26	Relación entre fibra detergente ácido (%) y su predicción por NIRS	71

Figura	Página
27 Relación entre carbohidratos solubles (g/kg MS) y su predicción por NIRS	73
28 Relación entre materia seca (%) y su predicción por NIRS	75
29 Relación entre cenizas totales (%) y su predicción por NIRS	77

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Evolución del contenido de materia seca (%) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región	92
2	Evolución del contenido de materia seca (%) de la pradera ubicada en Osorno, X Región	92
3	Evolución del contenido de materia seca (%) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región	93
4	Evolución del contenido de proteína bruta (%) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región	93
5	Evolución del contenido de proteína bruta (%) de la pradera ubicada en Osorno, X Región	94
6	Evolución del contenido de proteína bruta (%) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región	94
7	Evolución del contenido de proteína soluble (% PB) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región	95
8	Evolución del contenido de proteína soluble (% PB) de la pradera ubicada en Osorno, X Región	95
9	Evolución del contenido de proteína soluble (% PB) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región	96
10	Evolución del contenido de energía metabolizable (Mcal/kg MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región	96
11	Evolución del contenido de energía metabolizable (Mcal/kg MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región	97
12	Evolución del contenido de energía metabolizable (Mcal/kg MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región	97

Anexo		Página
13	Evolución del contenido de fibra detergente neutro (% MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región	98
14	Evolución del contenido de fibra detergente neutro (% MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región	98
15	Evolución del contenido de fibra detergente neutro (% MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región	99
16	Evolución del contenido de fibra detergente ácido (% MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región	99
17	Evolución del contenido de fibra detergente ácido (% MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región	100
18	Evolución del contenido de fibra detergente ácido (% MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región	100
19	Evolución del contenido de carbohidratos solubles (g/kg MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región	101
20	Evolución del contenido de carbohidratos solubles (g/kg MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región	101
21	Evolución del contenido de carbohidratos solubles (g/kg MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región	102
22	Coeficientes de correlación entre distintos nutrientes	103
23	Información meteorológica representativa para cada exclusión en el periodo septiembre 2005-marzo 2006	104
24	Tasas de crecimiento promedio mensual de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue	109

1 INTRODUCCIÓN

Cada día la alimentación animal cobra mayor importancia dentro de los sistemas de producción que se ubican en la zona sur de Chile. En este mismo sentido se hace fundamental manejar los sistemas pastoriles para lograr disponer de forraje en calidad y cantidad suficientes para satisfacer las necesidades del ganado a lo largo del año.

La marcada estacionalidad de la pradera en cuanto a aporte de materia seca y calidad nutritiva hace necesario conocer su comportamiento en el tiempo, y de esta manera poder utilizar este recurso forrajero con mayor eficiencia, ya sea en pastoreo directo o corte, y consecuentemente obtener un mayor beneficio por unidad productiva.

Si bien es cierto el crecimiento de las especies pratenses que forman parte de los sistemas pastoriles permanentes de la Décima Región es heterogéneo, en conjunto definen el potencial productivo de la pradera y determinan, según las condiciones agroclimáticas, la distribución del crecimiento a lo largo del año, y consecuentemente el tipo de producción animal a desarrollar en base a estos sistemas. La caracterización de este crecimiento (kg MS/ha/día, mes o año) permite definir épocas de abundancia y escasez de forraje, información de vital importancia para la programación y gestión predial.

El determinar la calidad composicional del forraje aportado por los sistemas pastoriles permite cuantificar la abundancia o déficit de forraje en términos de los nutrientes más limitantes. Es así como se han planteado los siguientes objetivos para conocer el aporte de la pradera (en términos cuantitativos y cualitativos) en distintas localidades de la Décima Región:

Objetivos específicos:

- Determinar la tasa de crecimiento de la pradera en tres áreas agroecológicas (Valdivia, Osorno y Llanquihue) de la X Región durante el periodo primavera-verano año 2005-2006.
- Estudiar la evolución de la composición nutricional de la pradera en función del tiempo en tres áreas agroecológicas.
- Fortalecer un modelo de predicción NIRS ya existente, para predecir la composición nutricional de la pradera (MS, CT, PB, PS, FDN, FDA, EM, CHO sol.).

Hipótesis:

La tasa de crecimiento y la evolución de la composición nutricional de la pradera no son homogéneas en la Décima Región, por lo tanto se deben implementar diferentes unidades experimentales que permitan cuantificar estos parámetros y que representen la variabilidad entre localidades.

El presente estudio se encuentra inserto dentro del proyecto de investigación denominado “DESARROLLO E INTRODUCCION DE UN SISTEMA GEORREFERENCIADO PARA APOYAR EN LINEA LAS DECISIONES DE LA PRODUCCION BOVINA EN LA DECIMA REGION”.

Proyecto FONDEF D03i-1151.

2 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 Descripción de las praderas.

2.1.1 Características de las praderas. La pradera es el más importante recurso alimenticio para el desarrollo de sistemas de producción en base a rumiantes. La gran ventaja de un sistema de alimentación de ganado basado en las praderas es su bajo costo comparado con sistemas de alimentación que utilizan como base los alimentos concentrados. Sin embargo, cabe destacar que el forraje frecuentemente contiene más fibra y es menos digestible que una ración balanceada con concentrados, lo cual reduce el total de materia seca consumida. A su vez el contenido de energía y proteína en ciertas épocas es menor. Esta doble situación hace entonces que el consumo diario total de energía y proteína sea inferior al logrado con un concentrado balanceado (RUIZ, 1996).

2.1.2 Composición nutricional de las praderas. Desde el punto de vista de la producción de forrajes, una buena pradera se caracteriza por poseer una diversidad de especies con alto valor nutritivo. Las variaciones de los nutrientes en las especies forrajeras se deben fundamentalmente al estado de desarrollo o madurez fisiológica de éstas (FLORES, 1998)(Figura 1).

Según MCBEATH (2002), para sustentar altas producciones, tomando en cuenta la pradera como principal fuente de alimentación animal, el enfoque tiene que ser en calidad de la pradera y la ingesta total al año. La pradera de alta calidad debiera ser de 60 a 70% hoja (gramíneas y trébol) y 20% de tallo y material muerto.

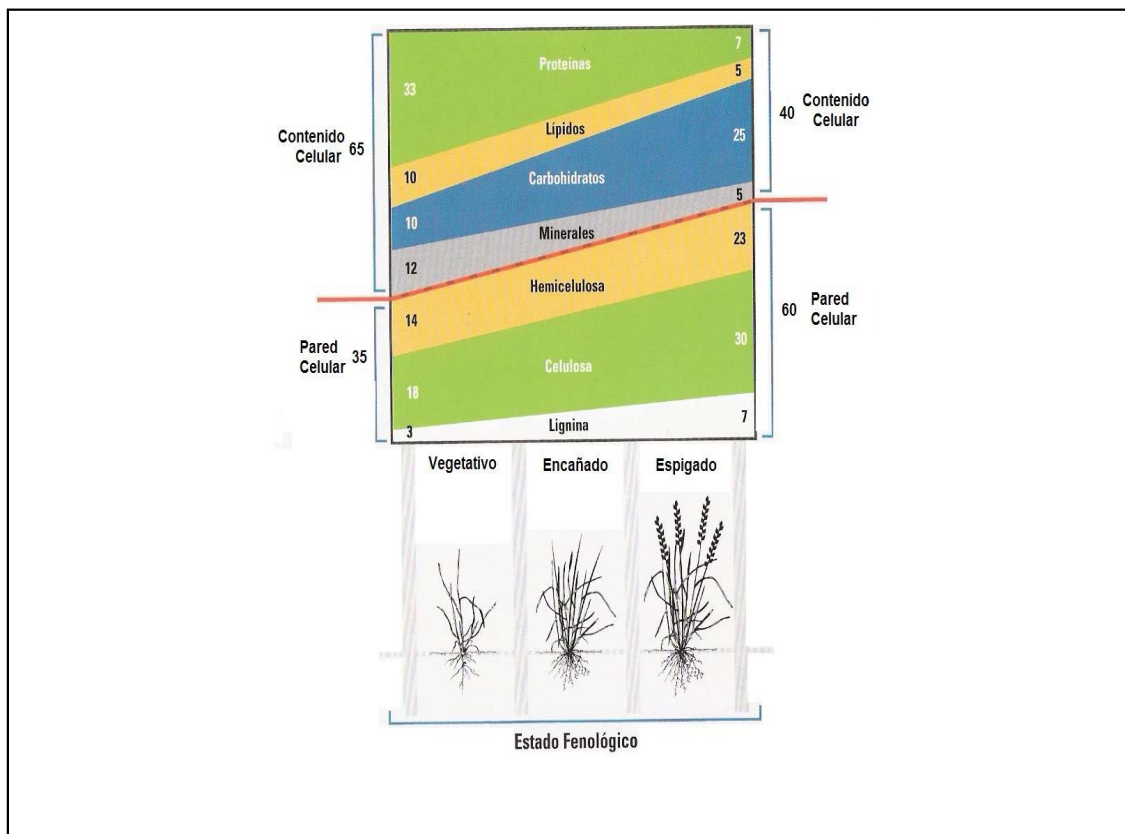


FIGURA 1 Evolución del valor nutritivo del forraje de acuerdo al estado fenológico de plantas de gramíneas.

FUENTE: ANASAC (s/f)

Los factores que afectan el contenido nutritivo de la pradera son principalmente el estado de crecimiento, la especie forrajera, el manejo de la pradera, la fertilización y el clima.

La temperatura, el fotoperiodo y la disponibilidad de agua en el suelo varían a través del año, esto lleva a que las praderas presenten una estacionalidad en su crecimiento, variando la oferta de forraje en distintas épocas del año. A lo largo del año se produce una variación en la composición botánica de la pradera, así en algunas épocas existirán condiciones adecuadas para el crecimiento de leguminosas y en otras para el crecimiento de

gramíneas, lo cual se traducirá en variaciones en el valor nutritivo de la mezcla (ALAMOS, 2004).

2.1.2.1 Proteína cruda y energía metabolizable. La variación anual de la proteína cruda contenida en los forrajes se explica principalmente por los manejos de fertilización nitrogenada y el estado fenológico en que se encuentra la pradera. Por otro lado el contenido de energía metabolizable se ve afectado a lo largo del año por una disminución en la digestibilidad del forraje atribuido al aumento en el contenido de fibra en estos, lo que se traduce en un menor contenido de energía metabolizable por kilo de materia seca consumida (PARGA, 2003).

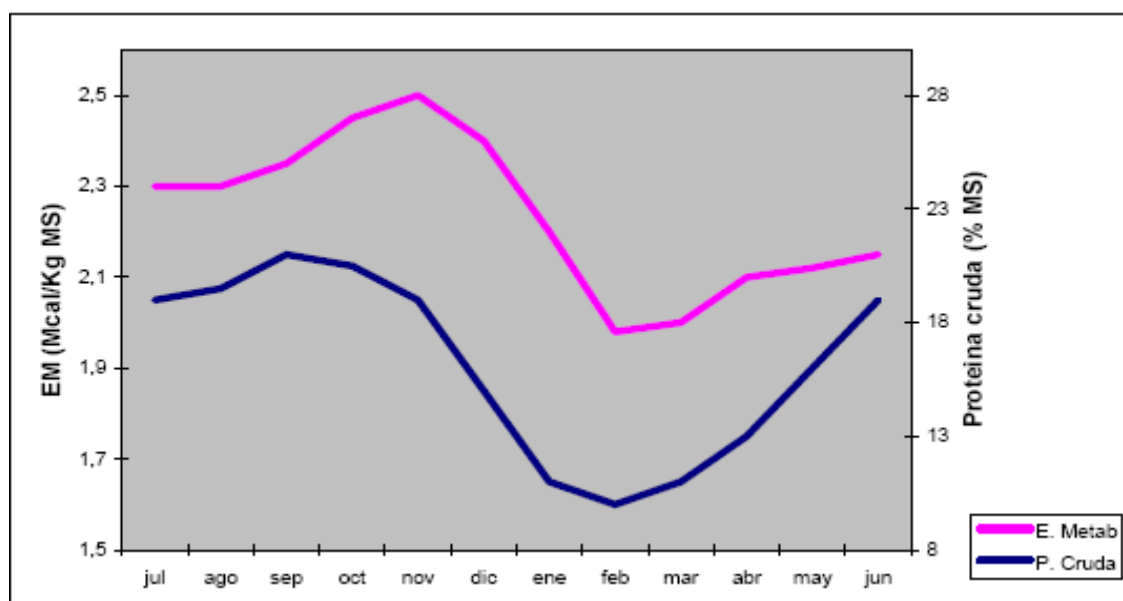


FIGURA 2 Evolución típica de los contenidos de energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC) en una pradera permanente del llano central de la Décima Región.

FUENTE: Anrique y Balocchi, 1993, citados por ALAMOS, 2004.

Según ANRIQUE *et al.*, (1995), el aporte nutricional de la pradera permanente fertilizada de la Décima Región llega a su máximo en términos de

energía metabolizable en el mes de noviembre presentando valores promedio de 2,55 Mcal/kg MS y en términos de proteína cruda durante agosto con valores de 20,8%.

2.1.2.2 Carbohidratos solubles. Estudios realizados con vacas lecheras, han demostrado que praderas con alto nivel de carbohidratos solubles (CSA) presentan mayor digestibilidad y por ende un significativo mayor consumo voluntario si se las compara con praderas con normal contenido (INSTITUTE OF GRASSLAND AND ENVIRONMENTAL RESEARCH, 2005).

Moorby *et al.*, (2001), citados por BALOCCHI (2003), señalan que cuando los animales consumen estas praderas altas en carbohidratos solubles pueden utilizar más eficientemente la proteína contenida en la dieta. El consumo de estas praderas permite la presencia a nivel ruminal de una cantidad extra de CSA lo cual hace que las bacterias trabajen de forma más eficiente en la absorción y fijación del amonio libre, producido por la degradación de las proteínas solubles del mismo forraje. Esto hace más eficiente el uso de la proteína de la dieta al aumentar la síntesis de proteína microbiana, reduciendo con ello la pérdida de nitrógeno vía heces y orina (ESNAOLA, 2004).

Según Iger (2005), citado por ESNAOLA (2004), la mayor cantidad de azúcar disponible en las praderas influye en forma positiva en el metabolismo de las proteínas (nitrógeno) del forraje al aumentar considerablemente la síntesis de proteína microbiana, lo cual hace aumentar la proteína que se fija en la leche desde un 23% hasta un 35%.

2.2 Tasa de crecimiento de praderas permanentes.

2.2.1 Variación de la tasa de crecimiento de praderas permanentes. Según HOPKINS (2000), el término producción de forraje se refiere a la cantidad de forraje que puede ser removido, ya sea por animales en pastoreo (forraje consumido) o por cosecha mecánica (forraje cosechado). La producción de forraje es normalmente expresada por unidad de área durante un periodo definido.

ALAMOS (2004), señala que la tasa de crecimiento, medida en kg MS/ha/día, es baja durante el periodo invernal, esto se explica por las bajas temperaturas y el exceso de agua que precipita lo que inhibe el crecimiento de las praderas en esta época del año. El crecimiento de las praderas en primavera se ve aumentado por la disponibilidad de agua y el incremento de las temperaturas, volviendo a descender en el verano principalmente al bajar la disponibilidad de agua.

Los principales factores ambientales que afectan el crecimiento y la producción de forraje son la temperatura, luz y humedad del suelo. La temperatura afecta procesos controlados por enzimas, tales como la fotosíntesis y la respiración, y la tasa de crecimiento y senescencia de la pradera dependen del comportamiento de la temperatura, incluyendo la oscilación térmica diurna. La temperatura determina el inicio del crecimiento primaveral, fecha de utilización, tasa de senescencia, etc. (HOPKINS, 2000).

Según HOPKINS (2000), las gramíneas adaptadas a climas templados (C₃) crecen poco bajo 6°C y experimentan un crecimiento óptimo a una temperatura cercana a los 20°C. Se han reportado aumentos en la tasa de crecimiento de la pradera de 13 kg MS/ha/día por cada grado en que aumenta

la temperatura en el rango de 8-15°C, y de 21 kg MS/ha/día por cada grado en que aumenta la temperatura en el rango de 14-20°C.

El efecto de la luz (radiación) debe ser considerado en términos de su longitud de onda, densidad (cantidad de fotones) y duración (longitud del día). La absorción de radiación solar fotosintéticamente activa permite la transformación de CO₂ en biomasa, pudiendo afectar la cantidad de forraje producido (HOPKINS, 2000).

La altura de corte condiciona el índice de área foliar (IAF) remanente en el residuo y por lo tanto, la intercepción de la luz que pueden hacer las plantas. La tasa máxima de producción de materia seca se ha relacionado con una intercepción de la luz cercana al 95%. El IAF que permita interceptar un 95% de la luz incidente se denomina IAF óptimo. Así, entonces el IAF óptimo se asocia con la tasa máxima de crecimiento de la pradera (CUEVAS, 1980).

La humedad del suelo, la que es afectada tanto por la cantidad y distribución de las precipitaciones como por la temperatura y condiciones del suelo, se presenta como uno de los factores más importante que afecta la cantidad de forraje producido, particularmente en verano y en lugares que sufren de sequías estacionales (HOPKINS, 2000).

La menor tasa de crecimiento de la pradera en la época de verano se puede deber a una insuficiente cantidad de agua disponible en el suelo, como resultado de una menor precipitación y una tasa de evapotranspiración superior (BOHLE, 1977).

Por su parte Ferrando (1966), dice que las praderas de la zona sur del país comienzan a crecer con cierta velocidad desde septiembre en adelante, logrando el máximo entre noviembre y diciembre, para luego decaer su ritmo de

crecimiento lo cual es más o menos agudo de acuerdo a las condiciones de humedad del verano (BOHLE, 1977).

HOPKINS (2000), afirma que la temperatura y el déficit de humedad del suelo son los principales factores que determinan el largo del periodo de crecimiento de la pradera.

En el trabajo “Competitividad de la Producción Lechera Nacional” realizado por la Universidad Austral de Chile, se estimó mediante un modelo la tasa de crecimiento de praderas permanentes naturales y naturalizadas en distintas zonas del país. El modelo simula la tasa de producción de materia seca diaria de una pradera para las condiciones agroclimáticas de la zona sur de Chile. Este modelo está basado principalmente en una metodología de balance, que considera las entradas de energía y materia, su transformación en el sistema agrícola y las pérdidas producidas en el sistema.

En las Figuras 3, 4 y 5 es posible apreciar la variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes, según profundidad del suelo, ubicadas en el distrito del agroecosistema de Valdivia, Osorno y Fresia-Casma (Llanquihue) respectivamente según el modelo antes mencionado.

Valdivia constituye un microclima dentro de la Macrozona de Paillaco (comprende desde el límite Cautín-Valdivia por el norte hasta la cercanía del seno de Reloncaví por el sur), porque es un área más lluviosa en primavera y verano. Además, esta área es una zona más calurosa en verano y tiene un periodo térmico vegetativo más largo. En esta zona desde noviembre a febrero la evaporación potencial es mayor que la precipitación (COMPETITIVIDAD DE LA PRODUCCIÓN LECHERA NACIONAL, 1999).

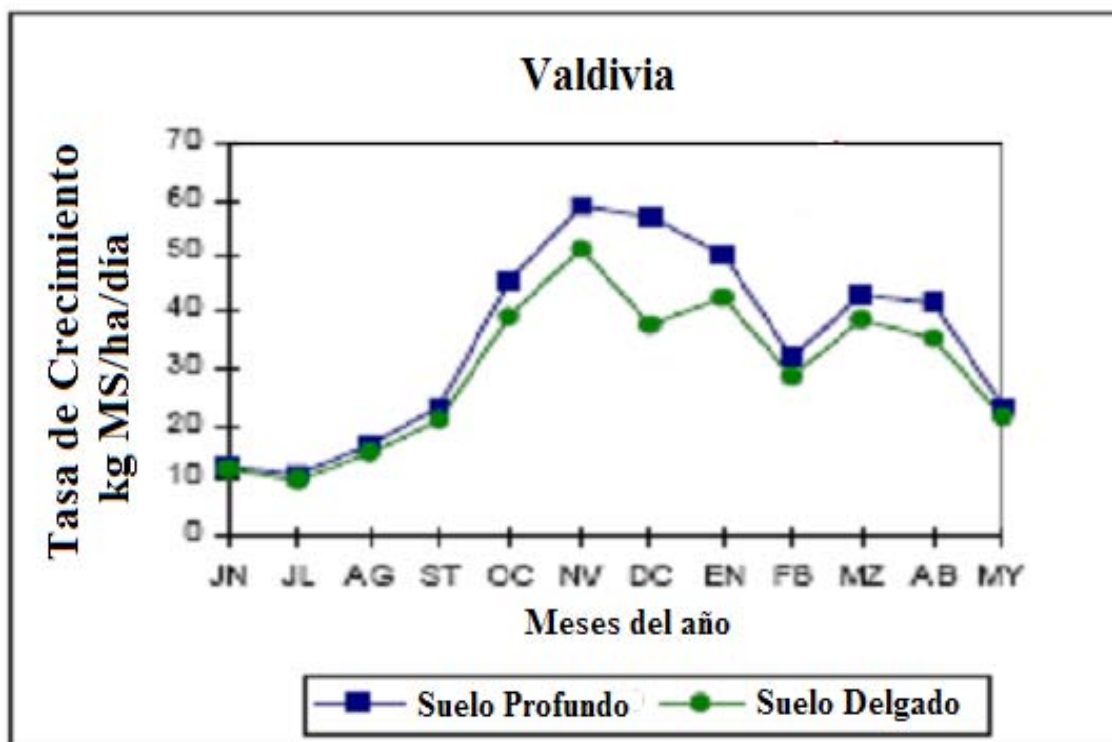


FIGURA 3 Variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Valdivia.

FUENTE: COMPETITIVIDAD DE LA PRODUCCIÓN LECHERA NACIONAL (1999).

En la Figura 4 se presenta la variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Osorno. Las curvas de producción simuladas (Figura 4) por el modelo PRADSIM para las zonas de Osorno y San Pablo-Remehue, muestran que existe un marcado déficit hídrico a partir del mes de diciembre, que se torna muy severo durante el mes de febrero, cayendo la tasa de crecimiento a menos de 10 kg MS/ha/día. La pradera presenta un repunte durante los meses de otoño, para luego ser afectada por estrés térmico durante los meses de junio y julio (COMPETITIVIDAD DE LA PRODUCCIÓN LECHERA NACIONAL, 1999).

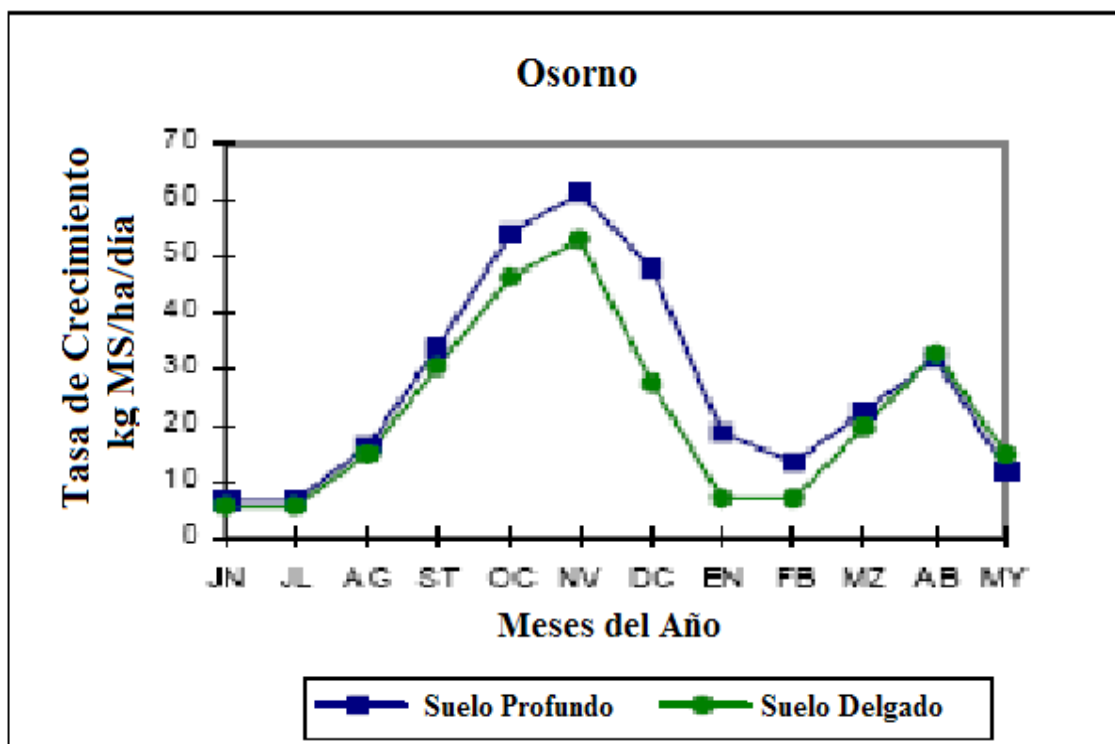


FIGURA 4 Variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Osorno.

FUENTE: COMPETITIVIDAD DE LA PRODUCCIÓN LECHERA NACIONAL (1999).

En la Figura 5 se presenta la variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Fresia-Casma según el estudio de la Competitividad de la producción lechera nacional. La zona tiene veranos relativamente secos y puede presentar un mes con temperaturas frecuentes inferiores a 0 °C.

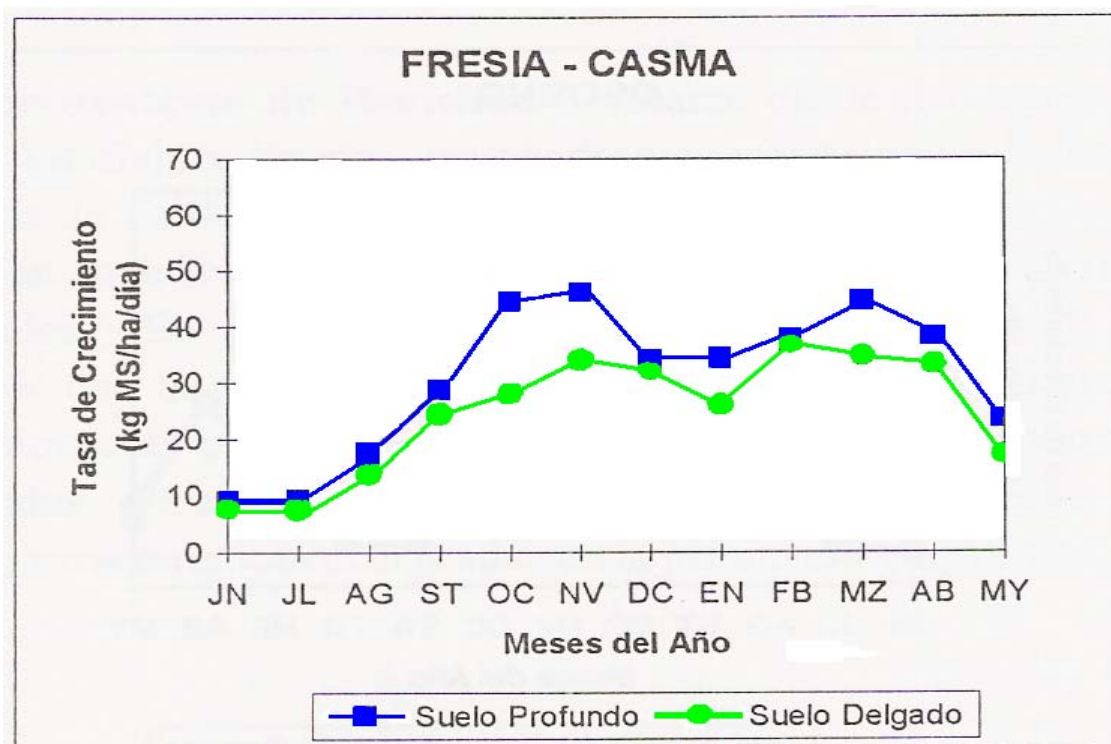


FIGURA 5 Variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Fresia-Casma.

FUENTE: COMPETITIVIDAD DE LA PRODUCCIÓN LECHERA NACIONAL (1999).

2.3 Análisis de laboratorio.

2.3.1 Espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS). Desde la década del setenta se perfila a nivel mundial la espectroscopia de reflectancia cercana al infrarrojo (NIRS), como una técnica alternativa a los métodos químicos y químico-biológicos tradicionales, con muy buen potencial para obtener estimaciones seguras y muy rápidas de la composición química nutricional de forrajes, así como de otros productos de muy diversa índole. Esta es una técnica no destructiva, rápida, de gran precisión y exactitud, siempre que

se sigan los procedimientos adecuados para generar las ecuaciones de predicción requeridas (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998).

Clark *et al.*, (1991), citado por FLORES (1998), señala que este método considera que toda sustancia esta formada por diferentes componentes y que estas tienen enlaces químicos con propiedades de absorción selectiva de la luz NIR, siendo la intensidad de absorción proporcional a la concentración.

Infrasoft International (1993), citado por FLORES (1998), define el espectro NIRS de una muestra como “la suma de las bandas de absorción de los grupos funcionales que la conforman y dicen relación de sus principales propiedades químicas y físicas”.

Marten *et al.*, (1984), citado por FLORES (1998), señalan que varias especies pueden ser evaluadas simultáneamente y esto probablemente requiera de la inclusión de más longitudes de onda para desarrollar ecuaciones de calibración. SHENK (1981), indica que los forrajes y concentrados químicamente son muy variables y complejos y que NIRS tiene la capacidad de predecir los valores químicos o nutricionales de estas sustancias con un razonable grado de precisión.

Givens *et al.*, (1992), citados por FLORES (1998), indican que para predecir la composición química de una muestra se requiere previamente desarrollar calibraciones, para lo cual se necesita contar con un conjunto amplio de muestras representativas de una misma población, coleccionar sus espectros, analizarlas por un método de referencia, ajustar las calibraciones que relacionen los datos espectrales con los resultados del método de referencia (ANRIQUE, 1994; GARRIDO *et al.*, 1993) y finalmente optimizar un modelo matemático entre la información de referencia y los datos espectrales, y validar

las ecuaciones obtenidas con otras muestras de la misma población general, que no formen parte del grupo usado en la calibración.

SHENK (1981), indica que la precisión en la predicción del NIRS depende de varios pasos: Primero, se debe seleccionar un set representativo de muestras a partir de una población de muestras para ser predicha. La calidad de una muestra desconocida puede solamente ser predicha con cierta confianza cuando el espectro NIRS es similar a las muestras en el set de calibración. Segundo, las mediciones en el laboratorio deben ser exactas con relación a las variables de composición a ser predichas. Tercero se deben obtener espectros precisos y exactos. Cuarto, debe aplicarse una apropiada transformación a los datos NIRS para cada uno de los parámetros a ser predichos. Quinto, las longitudes de onda deben ser elegidas de tal manera que sean útiles a la población total de muestras que están siendo consideradas.

Las ecuaciones de predicción han sido realizadas con procedimientos estadísticos tales como los análisis de regresión lineal o regresiones múltiples lineales sobre los datos espectrales (Shenk *et al.*, 1994; Bertrand *et al.*, 1987, citados por FLORES, 1998).

3 MATERIAL Y METODOS

3.1 Localización y período de realización del estudio.

La localización del estudio comprende tres zonas agroclimáticas de la Décima Región de Los Lagos: Valdivia, Osorno y Llanquihue, en las cuales se establecieron parcelas de exclusión para la realización de cortes y muestreos periódicos. El material vegetal colectado se analizó en el laboratorio de nutrición animal del Instituto de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile.

La primera parcela de exclusión se encuentra en el predio Vista Alegre de la Universidad Austral de Chile, ubicado en la comuna de Valdivia, Décima Región. El punto central de la parcela (determinado por GPS) se encuentra ubicado en la intersección descrita por el paralelo $39^{\circ} 47,25'$ latitud sur y el meridiano $73^{\circ} 12,64'$ longitud oeste, a una altura de 14 msnm.

El suelo corresponde a la serie Valdivia cuya textura es franco-limosa con buen arraigamiento hasta los 70 cm (Instituto de Investigación de Recursos Naturales – Corporación de Fomento, IREN-CORFO – UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, 1978).

La segunda parcela se encuentra ubicada en el Centro Regional de Investigación Remehue, propiedad del Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA), en la comuna de Osorno. El punto central de esta parcela se encuentra geográficamente ubicado en la intersección descrita por el paralelo $40^{\circ} 31,61'$ latitud sur y el meridiano $73^{\circ} 02,65'$ longitud oeste, a una altura de 87 msnm.

El tipo de suelo pertenece a la serie Osorno, cuyo material de origen corresponde a cenizas volcánicas con alto contenido de alofán. Su textura es franco – arenosa fina, con lomajes suaves y buena profundidad.

La tercera parcela se encuentra dentro del predio “La Quebrada” propiedad del Sr. Otto Werner, ubicada en el sector Colegual, Llanquihue. El punto central de esta parcela se encuentra geográficamente ubicado en la intersección descrita por el paralelo 41° 13,47` latitud sur y el meridiano 73° 06,09` longitud oeste, a una altura de 112 msnm. Esta parcela está ubicada en la serie de suelo Nueva Braunau, que presenta buen drenaje y textura franco-limosa. La topografía de estos suelos es plana de carácter depositacional o de lomajes y la profundidad de arraigamiento es de 1,2 m aproximadamente (IREN – CORFO, 1964).

El período de realización del estudio se extendió desde septiembre del año 2005 hasta marzo del año 2006, período que comprendió parte de la estación de invierno y la totalidad de las estaciones de primavera y verano.

Es importante señalar que éste corresponde a la continuación de un estudio anterior que se ejecutó desde marzo del año 2005 hasta septiembre del mismo año y una vez que concluyó la etapa de evaluación continuó la toma de muestras bajo otras responsabilidades y se extenderá hasta marzo del año 2007.

3.2 Tipo de praderas.

3.2.1 Praderas permanentes. Se seleccionaron tres parcelas correspondientes a praderas permanentes de las lecherías de los respectivos predios, compuestas principalmente por ballica perenne (*Lolium perenne L.*) y trébol blanco (*Trifolium repens L.*).

3.3 Diseño de las parcelas.

Cada exclusión tiene una superficie de 10 m x 10 m, subdividida en tres parcelas (A, B y C) de 3.3 m x 10 m cada una. Las exclusiones están protegidas por cerco de malla para evitar el ingreso de animales y poseen una puerta de acceso (Figura 6).

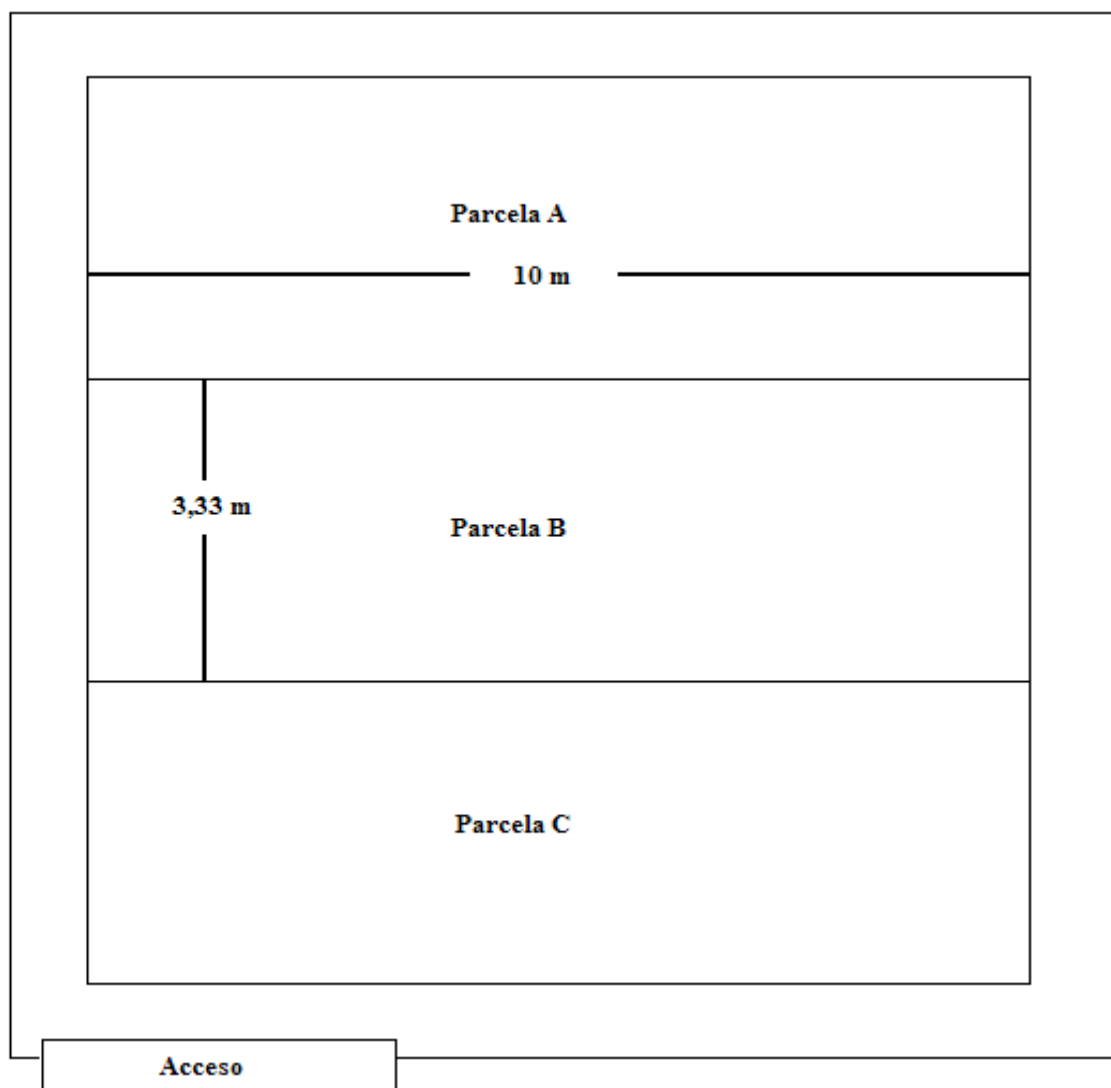


FIGURA 6 Diseño y distribución de parcelas de exclusión proyecto FONDEF D03i-1151.

3.3.1 Calendario de cortes y metodología de toma de muestras. Para llevar un orden cronológico de los cortes se confeccionó un calendario en el cual se especifican las fechas de muestreo por estación. La totalidad del forraje de cada parcela fue cosechado con una máquina cortadora de césped marca MURRAY con receptáculo posterior. Se pesaba el forraje total colectado y se tomaba una muestra para ser enviada al laboratorio, correspondiente a 500 g aproximadamente. Cada muestra se guardó en una bolsa plástica y se rotuló con su respectiva fecha de corte, peso total del forraje, peso de la muestra, parcela (A, B o C) y su procedencia. El mismo día del corte las muestras eran enviadas al laboratorio. Cuando no era posible despachar las muestras el mismo día del corte, eran congeladas con el objetivo de conservar la calidad original del forraje.

Al momento de efectuar los cortes toda la información descrita en el párrafo anterior quedaba detallada en un libro de registro con asiento en cada uno de los predios donde se encuentran las parcelas de exclusión.

A continuación se detallan las fechas de corte para el término de la estación de invierno y estación de primavera en Valdivia.

CUADRO 1 Calendario de corte para término de estación de invierno y estación de primavera para Valdivia.

FECHA DE CORTE	PARCELA
Estación de invierno	
9/09/2005	B
20/09/2005	C
Estación de primavera	
27/9/2005	A
4/10/2005	B

(Continúa)

Continuación Cuadro 1.

11/10/2005	C
18/10/2005	A
25/10/2005	B
2/11/2005	C
8/11/2005	A
15/11/2005	B
23/11/2005	C
29/11/2005	A
6/12/2005	B
14/12/2005	C
20/12/2005	A

FUENTE: ANWANDTER, 2005. Comunicación personal.

La altura de residuo fue de 6 cm para todos los cortes, independiente de la estación.

En el Cuadro 2 se presenta el criterio de corte, según estación de crecimiento, aplicado a las exclusiones.

CUADRO 2 Criterio de corte utilizado en las exclusiones evaluadas para una misma parcela y entre parcelas, según estación de crecimiento.

ESTACION	MISMA PARCELA (Corte cada)	ENTRE PARCELAS (Corte cada)
INVIERNO	51 días	17 días
PRIMAVERA	21 días	7 días
VERANO	30 días	10 días

CUADRO 3 Calendario de cortes para Osorno y Llanquihue durante la estación de primavera.

FECHA DE CORTE	PARCELA
21/9/2005	C
28/9/2005	A
5/10/2005	B
12/10/2005	C
19/10/2005	A
26/10/2005	B
2/11/2005	C
9/11/2005	A
16/11/2005	B
23/11/2005	C
30/11/2005	A
7/12/2005	B
14/12/2005	C
21/12/2005	A

FUENTE: ANWANDTER, 2005. Comunicación personal.

Las fechas de corte no siempre coincidieron debido a que el calendario se ajustó en relación a los días festivos y domingos, efectuándose los cortes al día inmediatamente siguiente.

CUADRO 4 Calendario de cortes para Valdivia durante la estación de verano.

FECHA DE CORTE	PARCELA
30/12/2005	B
9/1/2006	C
19/1/2006	A

(Continúa)

Continuación Cuadro 4.

30/1/2006	B
9/2/2006	C
20/2/2006	A
2/3/2006	B
13/3/2006	C
23/3/2006	A

FUENTE: ANWANDTER, 2005. Comunicación personal.

CUADRO 5 Calendario de cortes para Osorno y Llanquihue durante la estación de verano.

FECHA DE CORTE	PARCELA
2/1/2006	B
12/1/2006	C
23/1/2006	A
2/2/2006	B
13/1/2006	C
23/1/2006	A
6/3/2006	B
16/3/2006	C
27/3/2006	A

El criterio de corte se mantuvo hasta el último corte del mes de marzo, fecha en la cual se cumplió el período de evaluación del presente estudio.

3.4 Manejo de la fertilización.

Se contemplaron dos aplicaciones de fertilizante nitrogenado, una para el cambio de estación invierno-primavera y otra para primavera-verano. Según los análisis de suelo (Cuadro 6) colectados en las tres parcelas de exclusión, los

nutrientes se encontraban en niveles de suficiencia por lo que se consideró solo una fertilización de mantención (Cuadro 7).

CUADRO 6 Análisis de suelo de tres parcelas de exclusión Proyecto FONDEF D03i-1151, Valdivia, Osorno y Llanquihue.

Nutriente	PARCELA		
	Valdivia	Osorno	Llanquihue
pH	5,5	5,8	5,6
Materia Orgánica (%)	17,4	18,2	23,4
Fósforo Olsen (ppm)	20,9	48,7	29,5
Potasio Inter. (ppm)	254	680	434
Sodio Inter. (cmol+/kg)	0,51	0,29	0,15
Calcio Inter.(cmol+/kg)	3,74	11,13	5,05
Magnesio Inter. (cmol+/kg)	0,8	2,4	2,03
Suma de bases (cmol+/kg)	5,7	15,56	8,34
Aluminio Inter. (cmol+/kg)	0,21	0,04	0,31
CICE (cmol+/kg)	5,91	15,6	8,65
Saturación de Aluminio (%)	3,55	0,3	3,6
Azufre Disp. (ppm)	11,4	6,5	6
Al Extractable (ppm)	1146	779	1101

FUENTE: Laboratorio de suelos, Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile (2005).

La fertilización nitrogenada fue aplicada manualmente en cada cambio de estación. Es así como para el cambio de invierno-primavera se fertilizó con 40 unidades de N, ocurriendo lo mismo en el cambio de estación primavera-verano. La dosis anual de fertilización para cada parcela de exclusión correspondió a un equivalente de 160 unidades de N/ha. El fertilizante nitrogenado utilizado fue nitrato de amonio magnésico (27% N).

CUADRO 7 Fertilización de mantención realizada en tres parcelas de exclusión proyecto FONDEF D03i-1151, Valdivia, Osorno y Llanquihue.

Fertilizante	Unidades (kg/ha)	Fertilizante (kg/ha)	Fertilizante (kg/Parcela 10x10m)
Carbonato de Ca	1000	1000	10,00
Nitromag	160	593	5,93
Super Fosfato Triple	100	217	2,17
Muriato de potasio	60	100	1,00
Fertiyeso	20	118	1,18

3.5 Evaluaciones de la pradera.

3.5.1 Tasa de crecimiento y análisis de laboratorio. La tasa de crecimiento de la pradera (kg MS/ha/día) se calculó dividiendo el total del forraje (kg) acumulado a una fecha de corte por la cantidad de días transcurridos desde el corte previo de la misma parcela. La tasa de crecimiento de la pradera obtenida mediante el cálculo ya explicado corresponde a un valor promedio del crecimiento diario experimentado por el conjunto de las especies constituyentes de la pradera, y no representa la situación real de crecimiento diario, debido a la curva de crecimiento sigmoidea que caracteriza el crecimiento de especies pratenses luego de una defoliación.

A cada una de las muestras obtenidas del forraje cortado en cada parcela en las fechas correspondientes, se le realizaron análisis bromatológicos, donde se determinó Materia Seca parcial (60°) y total (105°), Proteína Bruta (PB, %MS), Proteína Soluble (PS, %PB), Energía Metabolizable (EM, Mcal/kg MS), Fibra Detergente Neutro (FDN, %MS) y Acida (FDA, %MS), Cenizas Totales (CT, %MS) y Carbohidratos Solubles (CHO_s, %MS).

La metodología usada para la determinación de las fracciones químicas indicadas en el párrafo anterior es presentada en el Cuadro 8.

CUADRO 8 Metodologías para la determinación de análisis químicos y sus respectivas referencias.

Análisis químico	Metodología	Referencia
Materia Seca	Horno de ventilación forzada a 60°C por 48 h y estufa a 105°C por 12 h.	AOAC international (1996). In P. Cunnif (Ed) Official Methods of Analysis of AOAC International (16 th ed., PP. 39.1-39.6) Gaithersburg, MD:AOAC International.
Proteína Bruta (PB) % de MS	Micro Kjeldhal (N x 6,25)	AOAC international (1996). In P. Cunnif (Ed) official methods of Analysis of AOAC International(16 th ed., PP. 39.1-39.6) Gaithersburg, MD:AOAC International.
Energía Metabolizable (EM = Mcal/Kg MS)	Regresión a partir del valor "D". $EM=0,279 + 0,0325 \cdot D\%$	GARRIDO y MANN (1981).
Valor "D" (% de M.O.D. en MS)	Digestibilidad in Vitro con licor ruminal	GOERING y VAN SOEST (1970).
Fibra Detergente Neutro (%MS)	Digestión con detergente neutro por 1 h.	VAN SOEST <i>et al.</i> (1991).

(Continúa)

Continuación Cuadro 8.

Fibra Detergente Acido (%MS)	Digestión con detergente acido por 1 hr.	AOAC international (1996). In P. Cunnif (Ed) official methods of Analysis of AOAC International (16 th ed., PP. 39.1-39.6) Gaithersburg, MD:AOAC International.
Cenizas Totales (CT) % de MS	Calcinación en mufla a 600°C por 2 horas.	AOAC international (1996). In P. Cunnif (Ed) official methods of Analysis of AOAC International (16 th ed., PP. 39.1-39.6) Gaithersburg, MD:AOAC International.
Proteína Soluble (PS) % de MS	Incubación en buffer y Micro Kjeldahl	LICITRA, G., HERNANDEZ, T.M. y VAN SOEST, P.J. (1996).
Carbohidratos Solubles (CHO _s) % de MS	Extracción con agua y determinación por colorimetría	MAFF (1985).

3.6 Modelo de predicción NIRS.

3.6.1 Colección de espectros y calibración. Paralelamente con la realización de los análisis químicos las muestras fueron procesadas para obtener sus espectros NIRS. Las muestras de forraje, previamente secadas en un horno de aire forzado a 60 °C por 48 horas y molidas en un molino eléctrico con un tamiz de 1mm (Figura 7), fueron dispuestas en cubetas cilíndricas con ventana de

cuarzo de 3 cm de diámetro para ser insertadas en el módulo de rotación y proceder a la lectura de sus espectros.

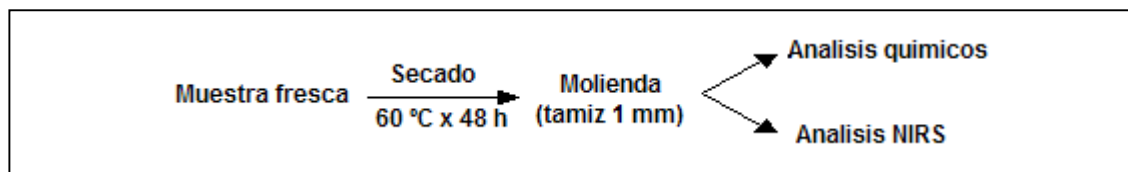


FIGURA 7 Tratamientos de las muestras frescas antes de ser sometidas a análisis químicos y NIRS.

El equipo que se utilizó para la predicción de la composición nutricional de las muestras fue un monocromador de barrido NIRSystems 6500 con módulo de rotación de muestras, que permite aumentar la superficie de barrido y así efectuar un mayor número de lecturas por muestra, las que se promedian.

Los datos obtenidos fueron ingresados a un archivo computacional y utilizados para recalcular una nueva ecuación NIRS para cada fracción evaluada, relacionando la información analítica de referencia con la información espectral obtenida de cada muestra, conjuntamente con los datos ya existentes para forrajes verdes presentados por CUEVAS (2005), quien desarrolló ecuaciones de calibración NIRS para predecir la composición química de la pradera, cuyo set de calibración consideró un número aproximado de 100 muestras. Es así como el total de muestras utilizadas aquí para calcular las ecuaciones de calibración NIRS pertinentes corresponde a las 100 muestras empleadas por CUEVAS (2005) más las 124 muestras obtenidas durante el periodo de evaluación de las praderas para el presente estudio (set de calibración NIRS = 224 muestras).

La colección de los espectros, el manejo de datos espectrales y de referencia y el cálculo de ecuaciones se realizó mediante el software WinISI II de ISI (INFRASOFT INTERNATIONAL, 1999).

Para contribuir a reducir el efecto explicado por la heterogeneidad en tamaños de partícula se aplicaron distintos tratamientos matemáticos de derivación (diferenciación), los que correspondieron a los cinco mejores tratamientos matemáticos obtenidos por CUEVAS (2005) para cada una de las fracciones analizadas, cada uno empleado junto a su respectivo tratamiento de corrección por dispersión de luz (“SNV y DETREND” y “NONE” según corresponda).

Para el desarrollo de las calibraciones se aplicó el método de los Mínimos Cuadrados Parciales Modificados (MPLS). Posteriormente se procedió a calcular el Error Estándar de Calibración (SEC) y el Coeficiente de Determinación de Calibración (R^2).

3.6.2 Criterio estadístico de selección de ecuaciones. Anrique (1994), citado por MARCHANT (2000), señala que para estimar la composición química de una muestra, a través de la técnica NIRS, se requiere previamente desarrollar calibraciones que en forma apropiada relacionen los datos espectrales con la información analítica de referencia.

Las diferentes opciones de tratamientos matemáticos y métodos de regresión permiten disponer de muchas ecuaciones posibles para cada una de las variables a predecir, por lo tanto se hace necesario seleccionar aquella que se considere más confiable, es decir que tenga un elevado coeficiente de determinación (R^2) y un bajo error estándar de calibración (SEC) (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998).

Según Murray y Westerhaus (1988), citados por SCHNEEBERGER (1999), es importante destacar que el SEC disminuye cada vez que se le agregan nuevos términos a la ecuación (a la vez que aumenta el R^2).

Shenk y Westerhaus (1993), citados por MONTERO (1998), señalan que el coeficiente de determinación (R^2) indica cuan relacionado se encuentra el método de referencia y el método NIRS. MARCHANT (2000), citando a los autores del párrafo anterior, menciona que el error estándar de calibración (SEC) determina qué tan bien fueron ajustadas las muestras de calibración.

El SEC corresponde en general al error estándar de la diferencia y, aunque no tiene una forma de expresión universalmente empleada, al parecer la más aceptada es (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998):

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum (y-x)^2}{n_c - t - 1}} \quad (3.1)$$

donde:

y = es el valor de referencia (laboratorio).

x = Valor predicho por NIRS.

n_c = Número de muestras en el set de calibración.

t = Número de términos en la ecuación de regresión.

La formula del coeficiente de determinación (R^2) es:

$$R^2 = 1 - (SEC^2/SD^2) \quad (3.2)$$

donde: SD= desviación estándar de los valores de referencia.

Los criterios utilizados para cada fracción en la selección de las ecuaciones generadas fueron, el coeficiente de determinación (1-VR) y el error estándar de validación cruzada (SECV). Se consideró además, como principal criterio discriminador entre ecuaciones la relación recomendada por KENNEDY

et al., (1995), quienes aconsejan que el SECV no sea superior a un tercio de la desviación estándar (SD) de los valores de referencia. Valores de SD superiores a 3.0 veces el SECV son indicativos de ecuaciones con un adecuado carácter predictivo. A igualdad del criterio anterior, se discrimina por el valor de 1-VR y luego por el SECV.

3.6.3 Validación. Una vez seleccionadas una o mas ecuaciones de calibración deben ser sometidas a un proceso de validación independiente, es decir, con muestras que no deben formar parte del grupo de calibración, las cuales se predicen y sus resultados se comparan con los entregados por el método de referencia (Infrasoft International, 1992, citado por MARCHANT, 2000).

Al predecir un grupo de muestras externas para validar una ecuación se calcula el coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de predicción (SEP), como lo señalan ALOMAR y FUCHSLOCHER (1998). La expresión matemática del SEP se indica en la ecuación siguiente:

$$SEP = \sqrt{\sum (y - x)^2 / n_v - 1} \quad (3.3)$$

donde:

y = valor de referencia

x = valor predicho por NIRS

n_v = número de muestras en el set de calibración

Infrasoft International (1992), citado por MARCHANT (2000), indica que el coeficiente de determinación de la predicción representa la proporción de la variabilidad existente en el grupo de validación que es explicada por la ecuación. Por otro lado Batten (1998), señala que el SEP corresponde a la desviación estándar de la diferencia entre los valores de referencia y los valores estimados por NIRS.

Widham *et al.*, (1989), citados por MONTERO (1998), recomiendan que una ecuación de calibración presente el menor SEC junto a un $R^2 \geq 0,9$. De acuerdo con Murray (1993), valores de R^2 menor a 0,75 indican que el modelo de regresión se torna poco fiable, requiriéndose un mayor número de muestras, junto con resultar mas difícil su validación (MONTERO, 1998).

La validación cruzada se presenta como una de las opciones para validar una ecuación. Esta opción representa un sistema intermedio de validación, que consiste en crear subgrupos de muestras a partir del grupo de calibración los que van siendo usados de a uno como si fueran muestras externas para lograr validar la ecuación que se va desarrollando a partir de los grupos restantes (Infrasoft International, 1995, citado por SCHNEEBERGER, 1999).

Algunas de las principales ventajas de una validación cruzada, es el eficiente uso de las muestras al ser utilizadas para calibrar y validar. Además se consigue una adecuada estimación del error de predicción y se evita el sobre ajuste en las ecuaciones de calibración (Wortel *et al.*, 1999; Shenk y Westerhaus, 1994, citados por CUEVAS, 2005).

La validación y selección de ecuaciones se realizó mediante una validación cruzada. Para ésta se establecieron cinco grupos de validación, es decir, que cada calibración se generó a partir de cuatro grupos de muestras con las que se predijo el grupo restante y así sucesivamente hasta que todas las muestras fueron predichas a partir del resto (INFRASOFT INTERNATIONAL, 1992). Además, se consideró un máximo de 12 términos para cada ecuación resultante y dos pases de eliminación de muestras aberrantes.

Durante el proceso de validación y calibración, se detectaron las muestras aberrantes o fuera de rango en base al valor T (para determinar

discrepancias con los datos de referencia) y al valor H (o distancia de Mahalanobis), para detectar espectros de muestras que se alejan del promedio del grupo. Los valores críticos dados para las muestras fuera de rango se definieron en base a recomendaciones de INFRASOFT INTERNATIONAL (1992), siendo 2,5 y 10 para muestras aberrantes T y H respectivamente.

3.7 Evaluaciones estadísticas.

Con el total de datos obtenidos más la información ya existente para forrajes verdes (CUEVAS, 2005) fueron calculadas nuevas ecuaciones de calibración NIRS para los nutrientes identificados en el punto 3.5.1.

Es importante indicar que no se efectuó ningún análisis estadístico (ANDEVA) con el objetivo de hacer comparativa la información obtenida de cada una de las parcelas de exclusión a lo largo del periodo de evaluación de éstas; sólo se efectuó un análisis descriptivo de cada sitio o unidad experimental.

4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta información de tasa de crecimiento de la pradera para las tres zonas agroecológicas evaluadas y la calidad nutricional para cada una de ellas en términos de MS, CT, PB, PS, EM, FDN, FDA y CHO_s. También se presenta la evolución conjunta de algunos nutrientes de interés a lo largo del periodo de evaluación de las praderas y la correlación existente entre todos los nutrientes considerados. Además, se presentan ecuaciones de calibración NIRS desarrolladas para cada fracción, discutiendo la mejor para cada uno de los nutrientes analizados.

4.1 Tasa de crecimiento.

En los Cuadros 9, 10 y 11 se presenta la tasa de crecimiento de la pradera para cada una de las tres zonas de estudio y su respectiva calidad nutricional, agrupada según estación de crecimiento y fecha de corte.

Es importante mencionar que toda la información nutricional se encuentra como porcentaje de la materia seca a excepción de los valores correspondientes a PS que se encuentran como porcentaje de la PB.

La disponibilidad de forraje (kg MS/ha) se refiere a la cantidad de forraje acumulado entre dos cortes consecutivos de la misma parcela, cantidad que corresponde al crecimiento absoluto de material vegetal en el periodo.

Según ALAMOS (2004), la tasa de crecimiento, medida en kg MS/ha/día, es baja en la Décima Región durante el periodo invernal debido a las bajas temperaturas y el exceso de agua que precipita, lo que inhibe el crecimiento de las praderas en esta época del año. El crecimiento de las praderas en la época de primavera y parte del verano está determinado por la disponibilidad de agua en el suelo.

CUADRO 9 Tasa de crecimiento y composición nutricional de la pradera (Valdivia, Vista Alegre, septiembre 2005- marzo 2006).

Fecha	Disponibilidad de forraje (kg MS/ha)	Tasa de crecimiento (kg MS/ha/día)	Materia seca (%)	Cenizas totales (%)	PB (%)	PS (% PB)	EM (Mcal/kg MS)	FDN (%)	FDA (%)	CHO`S (g/kg MS)
09-09-05	1019,3	20,0	16,68	8,73	21,89	6,72	2,92	44,21	24,22	73,17
20-09-05	1315,2	24,8	13,16	8,33	18,20	5,08	3,03	48,77	25,20	77,24
Primavera										
27-09-05	1351,5	33,0	14,17	8,60	19,74	5,43	2,92	49,15	24,85	*
04-10-05	729,2	29,2	12,16	8,73	26,26	8,32	2,92	49,12	24,94	37,98
11-10-05	943,3	44,9	10,71	8,60	26,97	7,64	2,85	54,01	27,96	21,83
18-10-05	689,5	32,8	12,64	8,84	22,35	5,18	2,92	56,71	27,36	46,09
25-10-05	975,8	46,5	13,06	8,73	20,72	5,52	2,86	54,13	26,88	58,82
02-11-05	1145,9	52,1	14,64	8,02	22,60	7,62	2,90	52,92	26,03	49,26
08-11-05	559,7	26,7	14,18	9,11	19,34	6,59	2,93	52,98	27,00	54,32
15-11-05	410,0	19,5	15,34	8,17	19,02	7,39	2,92	50,41	26,65	49,05
22-11-05	473,5	23,7	10,80	8,30	20,58	5,22	2,78	58,56	31,01	20,82
29-11-05	661,4	31,5	14,48	8,63	17,35	3,77	2,72	58,74	29,96	41,68
06-12-05	459,1	21,9	15,52	8,30	17,97	4,04	2,70	54,81	26,54	*
13-12-05	378,7	18,0	17,94	9,16	18,27	3,04	2,66	47,85	26,09	*
20-12-05	462,8	22,0	20,29	8,60	17,88	3,33	2,64	52,52	27,31	46,16
Verano										
30-12-05	372,5	15,5	18,24	7,77	16,88	4,47	2,58	51,11	29,46	*
09-01-06	756,5	28,0	16,76	7,28	16,35	4,19	2,56	55,08	32,05	25,29
19-01-06	1129,0	37,6	19,33	8,19	17,77	3,95	2,64	50,32	30,06	40,30
30-01-06	1199,5	38,7	24,61	8,2	17,41	5,1	2,74	48,39	27,36	52
09-02-06	906,7	29,2	23,57	9,15	16,29	3	2,58	52,08	28,37	44,46
20-02-06	628,7	19,6	21,17	8,32	15,14	4,17	2,45	51,16	31,95	37,65
02-03-06	483,9	15,6	27,31	7,8	15,76	3,84	2,6	54,54	29,42	33,9
13/03/06	441,6	13,8	17,1	8,1	16,16	4,52	2,74	52,92	32,03	37,54
Otoño										
22-03-06	508,1	16,9	19,65	8,63	18,19	4,74	2,84	43,76	26,77	52,24

* = Información no disponible

CUADRO 10 Tasa de crecimiento y composición nutricional de la pradera (Osorno, INIA Remehue, septiembre 2005- marzo 2006).

Fecha	Disponibilidad de forraje (kg MS/ha)	Tasa de crecimiento (kg MS/ha/día)	Materia seca (%)	Cenizas totales (%)	PB (%)	PS (% PB)	EM (Mcal/kg MS)	FDN (%)	FDA (%)	CHO`S (g/kg MS)
14-09-05	956,3	18,8	21,59	7,41	22,07	3,88	3,13	40,67	18,84	98,99
Primavera										
21-09-05	950,8	23,2	18,57	8,37	21,31	7,51	3,00	39,20	20,76	87,18
28-09-05	654,2	28,4	15,45	8,52	26,65	7,71	2,96	43,91	22,64	*
05-10-05	1050,7	50,0	13,08	8,34	30,57	11,48	2,96	48,35	24,24	32,87
12-10-05	1256,2	59,8	14,94	10,19	25,15	6,32	2,90	45,18	23,84	56,44
19-10-05	765,8	36,5	17,00	9,37	21,68	5,89	2,84	49,81	27,76	21,89
26-10-05	1057,4	50,4	15,31	8,53	21,05	4,26	2,89	47,89	24,15	79,22
02-11-05	1107,7	52,7	12,72	8,85	20,83	4,50	2,94	46,41	23,86	56,73
09-11-05	718,1	34,2	15,68	9,12	19,04	7,06	2,98	46,41	26,53	56,72
16-11-05	1032,9	49,2	13,28	8,73	20,90	9,05	3,01	51,10	26,29	38,75
23-11-05	872,7	41,6	12,50	9,79	19,03	5,19	2,90	48,93	27,88	51,28
30-11-05	879,3	41,9	19,52	8,97	17,39	3,78	2,93	49,35	24,20	64,70
07-12-05	894,0	42,6	18,32	8,76	17,97	4,53	2,82	51,50	27,00	*
14-12-05	866,5	41,3	18,92	9,48	17,55	3,42	2,89	44,53	23,31	*
Verano										
21-12-05	748,4	35,6	21,30	8,44	17,47	2,44	2,87	41,32	23,12	58,83
02-01-06	1216,6	46,8	23,15	8,45	16,94	4,84	2,87	44,33	24,42	*
12-01-06	1027,6	35,4	17,11	8,55	19,99	6,17	2,83	44,32	25,13	50,37
23-01-06	443,2	13,4	30,81	10,44	19,11	5,37	2,58	48,38	24,99	58,34
02-02-06	594,1	19,2	23,98	10,62	21,12	7,15	2,65	42,2	25,24	31,93
13-02-06	663,3	20,7	23,75	10,18	17,00	4,51	2,78	39,59	22,54	63,15
23-02-06	151,5	4,9	19,78	8,36	17,10	5,49	2,72	45,27	27,72	37,70
06-03-06	144,8	4,5	17,99	8,12	19,16	4,65	2,83	48,12	25,31	31,93
16/03/06	356,6	11,5	16,61	8,97	21,81	5,31	2,79	40,81	22,62	44,87
Otoño										
22/03/06	283,8	10,5	20,15	8,27	23,3	6,33	3,06	33,6	18,62	58,5

* = Información no disponible

CUADRO 11 Tasa de crecimiento y composición nutricional de la pradera (Llanquihue, sector Colegual, septiembre 2005- marzo 2006).

Fecha	Disponibilidad de forraje (kg MS/ha)	Tasa de crecimiento (kg MS/ha/día)	Materia seca (%)	Cenizas totales (%)	PB (%)	PS (% PB)	EM (Mcal/kg MS)	FDN (%)	FDA (%)	CHO'S (g/kg MS)
14-09-05	1219,8	23,9	20,31	8,01	21,41	4,69	3,01	39,77	18,31	93,68
Primavera										
21-09-05	1467,2	35,8	15,93	9,21	21,56	8,19	2,90	39,88	21,33	70,71
28-09-05	430,7	18,7	13,66	8,53	31,23	9,86	2,96	46,47	21,73	*
05-10-05	897,4	42,7	13,90	9,68	26,97	8,71	2,91	46,88	22,45	47,59
12-10-05	897,6	42,7	16,07	9,75	22,26	5,88	2,93	42,86	21,32	67,54
19-10-05	612,0	29,1	17,57	9,17	22,80	5,71	2,86	45,59	21,70	60,44
26-10-05	780,2	37,2	15,94	9,52	21,51	6,87	2,89	41,36	20,40	92,60
02-11-05	543,0	25,9	13,91	9,79	22,78	6,49	2,80	44,61	21,76	44,48
09-11-05	488,9	23,3	18,09	10,15	21,90	7,06	2,94	38,11	20,70	37,86
16-11-05	364,6	17,4	13,49	9,66	22,82	9,58	2,92	47,98	23,88	47,34
24-11-05	450,1	20,5	11,53	9,47	20,75	4,76	2,81	50,05	24,61	53,03
30-11-05	451,6	21,5	15,83	9,87	20,29	4,40	2,83	49,14	24,00	35,10
07-12-05	393,2	18,7	13,54	9,31	18,73	4,14	2,85	47,93	22,84	*
14-12-05	291,6	14,6	15,17	10,11	23,01	6,23	2,86	43,07	21,72	*
Verano										
21-12-05	507,6	25,4	20,74	8,67	19,07	2,99	2,84	45,19	22,41	59,88
02-01-06	480,9	18,5	18,84	8,63	19,35	5,36	2,85	44,77	24,44	*
12-01-06	527,5	18,2	11,99	8,82	20,06	4,28	2,83	55,71	26,66	32,19
23-01-06	1371,0	41,5	27,67	9,04	18,27	4,68	2,88	47,51	23,42	57,25
02-02-06	1278,9	41,3	21,84	9,47	20,17	5,63	2,85	42,36	25,48	25,44
13-02-06	839,1	26,2	24,51	10,40	16,72	4,15	2,87	47,75	24,14	58,31
23-02-06	408,5	13,2	18,26	8,63	17,87	3,89	2,70	55,16	27,65	30,39
06-03-06	365,5	11,4	14,32	8,25	18,94	5,62	2,86	51,65	24,95	41,41
16/03/06	518,6	16,7	14,39	9,27	20,57	4,66	2,84	48,11	24,21	48,75
Otoño										
22/03/06	714,2	26,5	19,18	8,54	20,97	5,12	2,95	47,21	22,23	68,49

* = Información no disponible

La información de los Cuadros 9 al 11 se presenta gráficamente en las Figuras 8, 9 y 10, en las que es posible apreciar separadamente las tasas de crecimiento de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue respectivamente, y la evolución de la tasa de crecimiento de los tres sitios en conjunto (Figura 11).

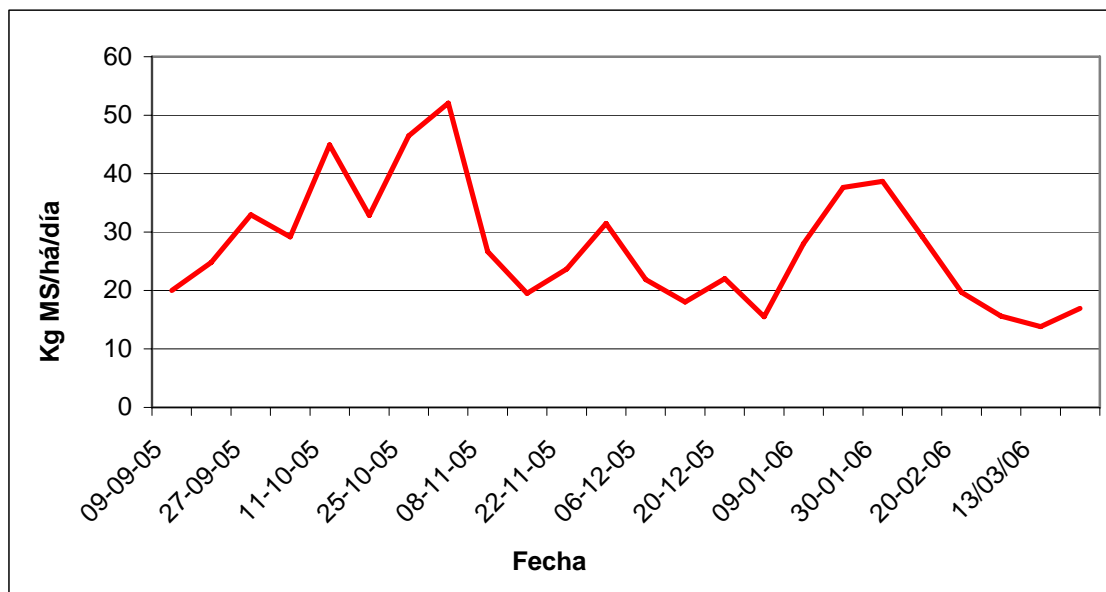


FIGURA 8 Tasa de crecimiento diaria (kg MS/ha/día) de la pradera ubicada en Valdivia.

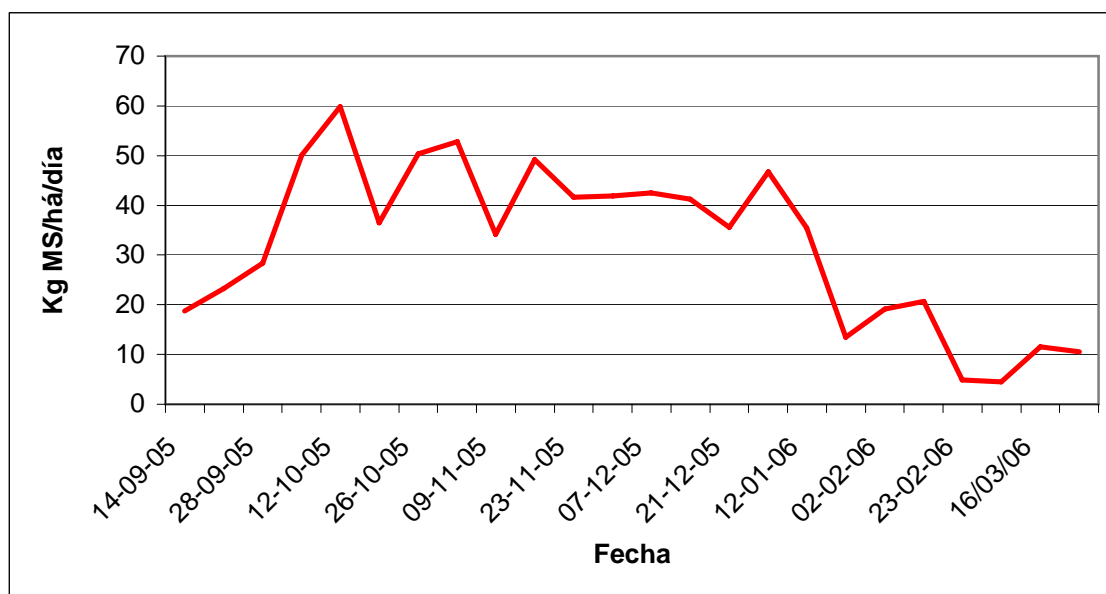


FIGURA 9 Tasa de crecimiento diaria (kg MS/ha/día) de la pradera ubicada en Osorno.

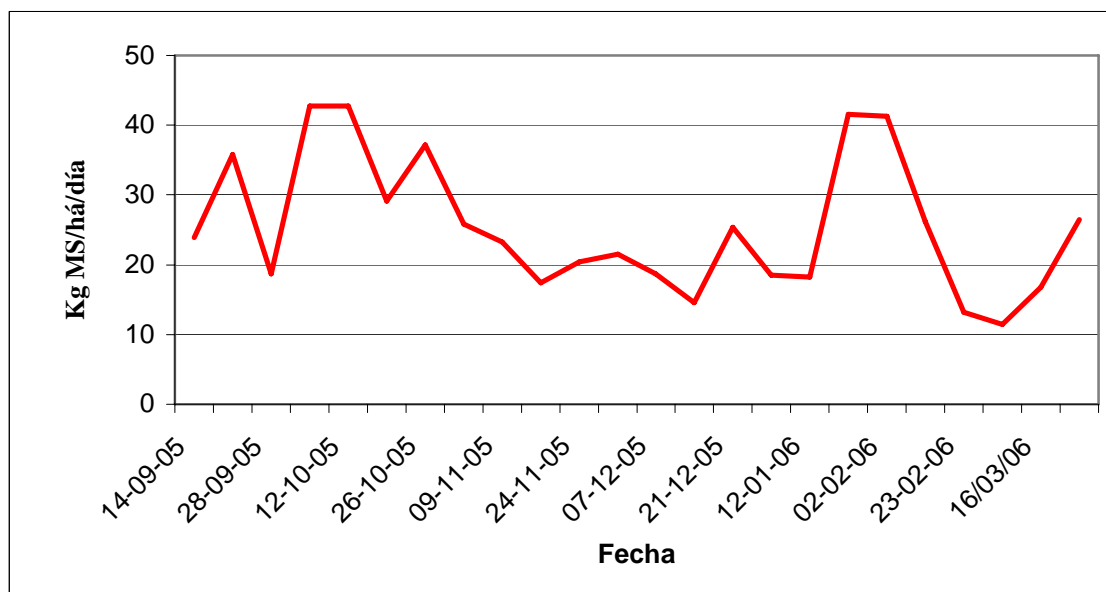


FIGURA 10 Tasa de crecimiento diaria (kg MS/ha/día) de la pradera ubicada en Llanquihue.

En la Figura 8, que representa la tasa de crecimiento diaria de la pradera ubicada en Valdivia, es posible apreciar que al salir de invierno y a medida que avanza la estación de primavera, la tasa de crecimiento de la pradera es creciente, aunque no de manera constante sino presentando ciertos altos y bajos, variaciones explicadas por la disponibilidad adecuada o inadecuada de los distintos factores de crecimiento, principalmente humedad y temperatura, ya que todos los niveles de fertilidad de suelo fueron corregidos al comienzo del proyecto y con anterioridad al inicio de los cortes.

La tasa de crecimiento de la pradera en esta localidad aumentó de manera relativamente constante desde fines de invierno hasta mediados de la estación de primavera (inicios de noviembre), momento en que alcanzó su máximo valor (52,1 kg MS/ha/día). La tasa máxima de crecimiento de la pradera en Valdivia se registró el día 2 de noviembre del 2005; posteriormente la tasa de crecimiento comenzó a decrecer pero también a intervalos irregulares, presentándose un alza notable desde el 9 de enero hasta el 2 de febrero del 2006, explicado fundamentalmente por la ocurrencia de precipitaciones durante el periodo de tiempo indicado y de temperaturas medias máximas y mínimas durante enero muy adecuadas para el crecimiento de la pradera (Anexo 23).

La menor tasa de crecimiento de la pradera en la localidad de Valdivia, dentro del periodo de evaluación, se registró durante el mes de marzo del 2006, siendo su valor de 13,8 kg MS/ha/día, además la menor tasa de crecimiento promedio mensual se registró también durante este mes, teniendo un valor de 15,4 kg MS/ha/día.

Es importante señalar que existe una tendencia de que se acumule una cantidad creciente de materia seca a medida que se aproxima la estación de primavera, alcanzando su máximo desde fines de octubre hasta inicios de noviembre.

A pesar de que en Valdivia la tasa máxima de crecimiento de la pradera se presentó en noviembre, la mayor tasa de crecimiento promedio mensual se registró en octubre, llegando a un valor de 38,3 kg MS/ha/día (Anexo 24).

La curva característica de la tasa de productividad potencial de las praderas permanentes simuladas con PRADSIM muestra que la máxima tasa de crecimiento de una pradera en Valdivia puede llegar a un valor de alrededor de 60 kg MS/ha/día en el mes de noviembre (Figura 3), situación bastante próxima a los resultados aquí presentados ya que la mayor tasa de crecimiento diaria de la pradera en Valdivia alcanzó los 52,1 kg MS/ha/día en el mismo mes.

La Figura 9 muestra la información correspondiente a la tasa de crecimiento diaria de la pradera ubicada en Osorno.

Al igual que lo ocurrido en la parcela de exclusión de Valdivia, en la parcela de exclusión ubicada en Osorno comenzó el crecimiento activo de la pradera hacia fines de invierno, teniendo lugar desde ese momento hasta mediados de noviembre un crecimiento muy explosivo. La tasa máxima de crecimiento de la pradera se registró a mediados del mes de octubre del 2005, llegando a 59,8 kg MS/há/día y la tasa mínima de crecimiento de la pradera se registró durante marzo del 2006, alcanzando 4,5 kg MS/ha/día. El bajo valor mínimo de crecimiento de la pradera obtenido para esta parcela de exclusión se explica en gran medida, sino exclusivamente, por las inapropiadas condiciones climáticas imperantes durante el periodo de acumulación del forraje, fines de enero 2006- inicios de marzo 2006, principalmente temperatura y un déficit de humedad en el suelo (Evaporación potencial del periodo > Precipitación del periodo, Anexo 23), siendo muy crítico en esta localidad el mes de febrero en el que hubo muy poca precipitación asociada a un elevado valor de temperaturas medias máximas (27 °C). Es importante observar que durante todo el periodo de evaluación de la pradera de Osorno la evaporación potencial fue mayor a la

precipitación (Anexo 23), y por lo tanto, el valor mínimo de tasa de crecimiento registrado para esta exclusión responde a una situación climática adversa acumulada más que a una inapropiada disponibilidad de factores de crecimiento durante el periodo de acumulación de forraje para el cálculo de esta tasa, sin embargo el crecimiento estival de la pradera se mantuvo con valores altos, situación que se puede explicar por la profundidad del suelo y su contenido de materia orgánica, reteniendo a lo largo del perfil de suelo agua en cantidad suficiente como para permitir un crecimiento adecuado de la pradera durante los meses más críticos.

En esta localidad coincidió el mes (octubre) en que se registró la máxima tasa de crecimiento de la pradera con la mayor tasa de crecimiento promedio mensual, llegando la última a 49,2 kg MS/ha/día. Al igual que en Valdivia la menor tasa de crecimiento promedio mensual se registró en el mes de marzo con un valor de 8,8 kg MS/ha/día. Es interesante considerar que durante el mes de diciembre en Osorno la tasa de crecimiento promedio mensual de la pradera fue alrededor de 20 kg MS/ha/día, superior a la registrada en Valdivia y en Llanquihue en el mismo mes (Anexo 24).

El día 20 de enero del 2006 se produjo el ingreso accidental de animales al interior de la parcela de exclusión de Osorno, situación que afectó la acumulación de forraje y disminuyó el valor de la tasa de crecimiento de la pradera calculada para los días 23-enero-2006 y 2 y 13-febrero-2006. Esta situación permite comprender la caída que experimenta la curva que grafica la tasa de crecimiento diaria de la pradera ubicada en Osorno después del 12 de enero del 2006, debiendo ser la caída de la curva durante este periodo menos pronunciada, es decir, debería ser una curva con mayor persistencia.

La tasa de crecimiento diaria de la pradera ubicada en Llanquihue se presenta en la Figura 10. En ésta, es posible apreciar que se presentaron los mayores valores de tasa de crecimiento de la pradera durante el mes de octubre del 2005, los días 5 y 12 del mes indicado y desde el 23 de enero hasta el 2 de febrero del 2006. No obstante lo anterior, el máximo valor de tasa de crecimiento de la pradera se registró en dos ocasiones, los días 5 y 12 de octubre del 2005, alcanzando 42,7 kg MS/ha/día. El menor valor de tasa de crecimiento diaria de la pradera ubicada en Llanquihue se registró el día 6 de marzo del 2006, siendo de 11,4 kg MS/há/día.

El mayor valor de tasa de crecimiento promedio mensual de la pradera ubicada en Llanquihue fue de 37,9 kg MS/ha/día y el menor valor fue de 18,2 kg MS/ha/día, presentándose estos valores durante octubre del 2005 y marzo del 2006 respectivamente.

Al analizar en conjunto la tasa de crecimiento de las tres praderas permanentes evaluadas y su comportamiento en el tiempo (Figura 11) es posible apreciar que la mayor tasa de crecimiento diaria de la pradera, sin importar la localidad, se alcanzó durante el mes de octubre en la pradera ubicada en Osorno, mes en el que se alcanzó el valor máximo de tasa de crecimiento diaria de la pradera en la localidad de Llanquihue, no así en la pradera ubicada en Valdivia, que experimentó la mayor tasa de crecimiento diaria durante el mes de noviembre.

Durante el “peak” de la tasa de crecimiento diaria de la pradera, y sin la intención de hacer las tasas de crecimiento de los distintos sitios evaluados comparables, en la pradera ubicada en Osorno se generaron 7,7 kg MS/ha/día por sobre lo que se produjo en la localidad de Valdivia y 17,1 kg MS/ha/día por sobre lo que se produjo en la pradera ubicada en Llanquihue.

A pesar de que la pradera ubicada en Osorno alcanzó la mayor tasa de crecimiento diaria, alcanzó también la menor tasa de crecimiento diaria de las tres praderas evaluadas, produciendo 9,3 kg MS/ha/día menos que la pradera ubicada en Valdivia y 6,9 kg MS/ha/día que la ubicada en Llanquihue.

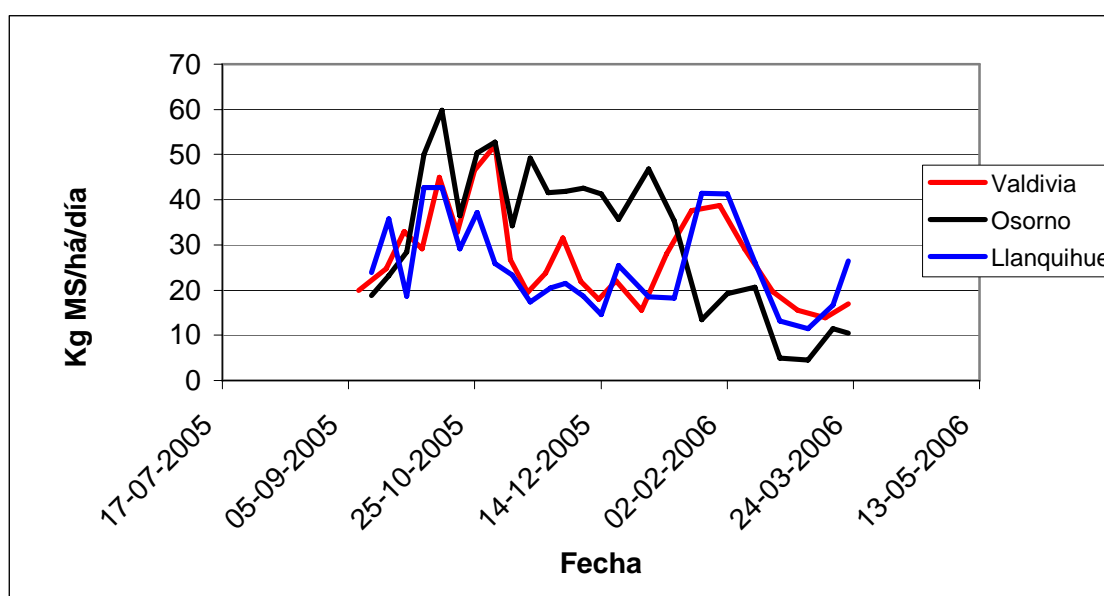


FIGURA 11 Tasas de crecimiento diarias (kg MS/ha/día) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue.

En la Figura 11 es posible apreciar que la persistencia de la curva que representa la tasa de crecimiento diaria de la pradera ubicada en Osorno es mayor que la persistencia de las curvas que representan la tasa de crecimiento diaria de las praderas permanentes ubicadas en Valdivia y Llanquihue, observándose una producción relativamente sostenida durante los meses de primavera y parte de verano, no bajando de los 34 kg MS/ha/día hasta mediados de enero. Por otro lado el crecimiento de verano es bastante similar en las praderas de Valdivia y Llanquihue, experimentando un crecimiento acelerado desde el comienzo de la estación hasta inicios de febrero. Además, el crecimiento otoñal es mayor en Llanquihue y Valdivia que en Osorno.

4.2 Composición nutricional.

4.2.1 Evolución de los contenidos de EM y PB en las praderas de Valdivia, Osorno y Llanquihue. En las Figuras 12, 13 y 14 se presenta la evolución conjunta del contenido de energía metabolizable (Mcal/kg MS) y proteína bruta (% MS) de praderas permanentes ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue respectivamente.

El contenido de EM de la pradera evaluada en Valdivia logró su máximo el día 20 de septiembre del 2005, llegando a 3,03 Mcal/kg MS. Una vez que la pradera alcanzó su máximo contenido de EM comenzó una tendencia relativamente constante a ir decreciendo a medida que avanzó la primavera y parte del verano, para posteriormente repuntar a mediados del mes de febrero. El valor mínimo de EM de la pradera se presentó durante verano (20 Febrero 2006), siendo de 2,45 Mcal/kg MS. En términos generales es posible afirmar que el contenido de EM de la pradera ubicada en Valdivia se encuentra por sobre las 2,5 Mcal/kg MS desde el mes de septiembre hasta mediados del mes de marzo, periodo de tiempo en que fue evaluada la pradera para el presente estudio.

La mayor concentración de PB se presentó, en Valdivia, aproximadamente 20 días después que se alcanzó el máximo contenido de EM en la misma pradera, llegando a 26,97%, y no bajó en ningún momento de 15%.

Es interesante notar que los máximos valores de EM y PB se registraron a partir de mediados del mes de septiembre hasta mediados del mes de octubre.

Con posterioridad a la ocurrencia de los valores máximos en Valdivia se evidenció una tendencia, tanto de la EM como de la PB, a ir teniendo valores decrecientes en el tiempo a medida que avanzó la estación de verano hasta

enero, en que ambos parámetros de calidad nutricional registraron un alza para luego decrecer hasta que tanto la EM como la PB registraron sus valores mínimos.

En la Figura 13 es posible apreciar la tendencia o el comportamiento que presentaron tanto la EM como la PB durante el periodo en que se evaluó la pradera ubicada en Osorno.

Los valores máximos de EM y de PB se registraron el día 14 de septiembre del 2005 y 5 de octubre del 2005 respectivamente en la pradera ubicada en Osorno. Al igual que lo ocurrido en la pradera ubicada en Valdivia, existió un desfase de aproximadamente 20 días entre que se registró el valor máximo de PB y el valor máximo de EM.

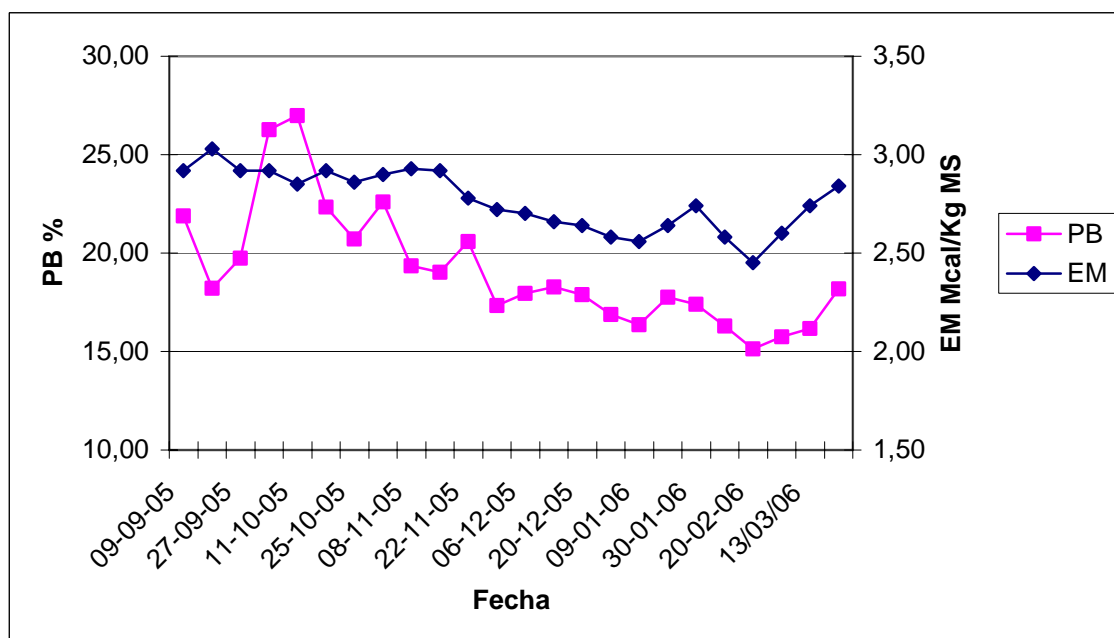


FIGURA 12 Evolución del contenido de EM (Mcal/kg MS) y PB (% MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región.

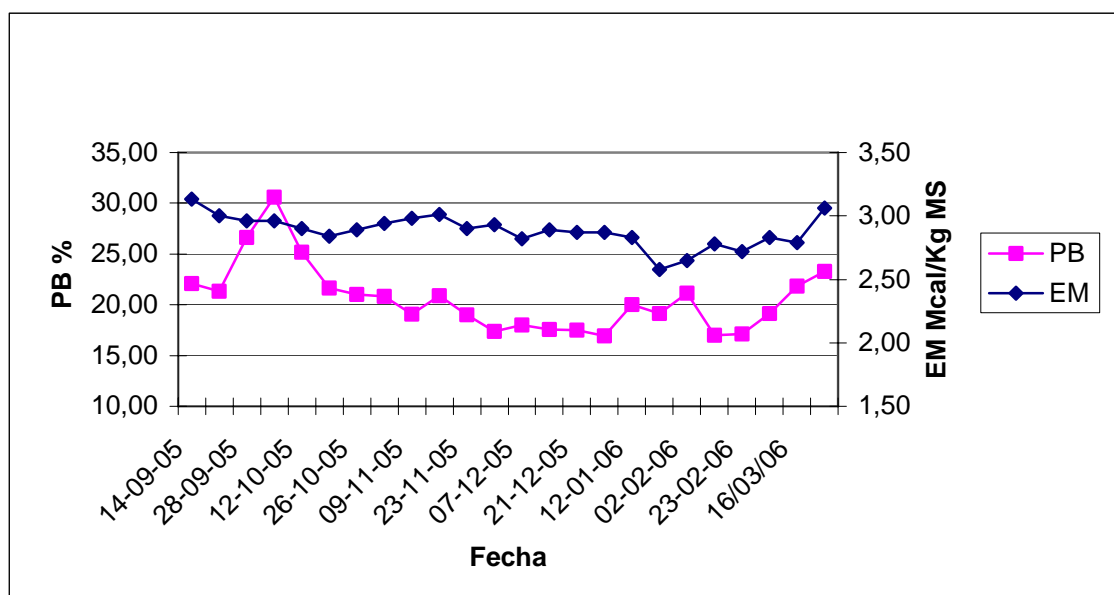


FIGURA 13 Evolución del contenido de EM (Mcal/kg MS) y PB (% MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región.

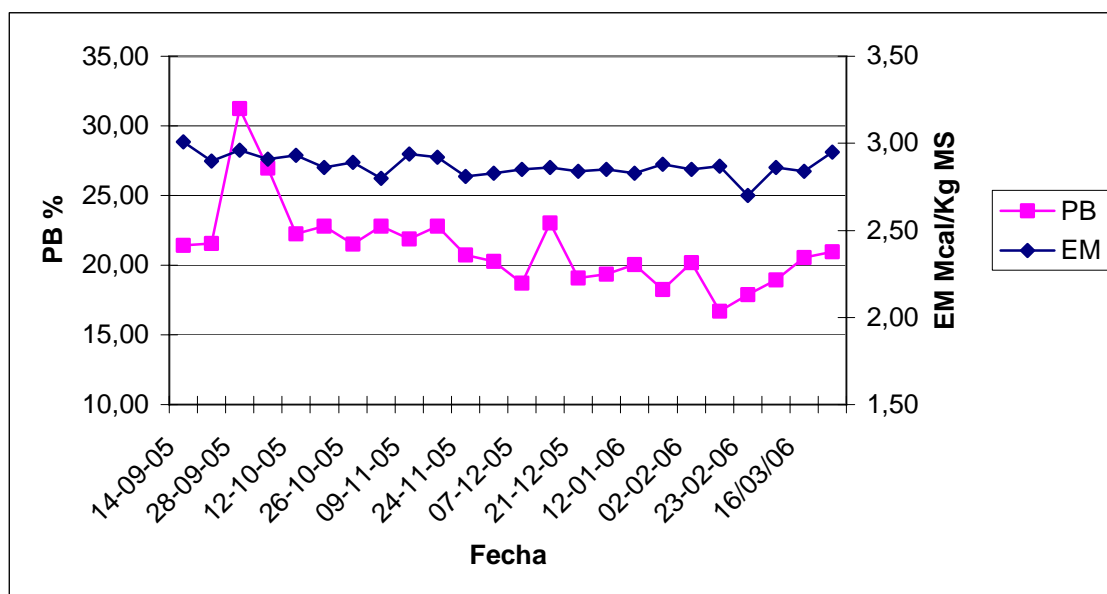


FIGURA 14 Evolución del contenido de EM (Mcal/kg MS) y PB (% MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región.

Por otro lado, los valores mínimos registrados de ambos parámetros de calidad nutricional ocurrieron con un desfase de aproximadamente 20 días a favor de la PB. El valor mínimo de PB (16,94%) se registró el día 2 de enero del 2006 y el valor mínimo de EM se registró el día 23 de enero del 2006, siendo de 2,58 Mcal/kg MS.

En la Figura 14 se presenta la información recopilada entre septiembre del 2005 y marzo del 2006 en la pradera ubicada en Llanquihue en relación a su contenido de EM y PB, cuyos valores máximos se registraron el día 14 y 28 de septiembre del 2005 respectivamente. El valor mínimo de PB se registró el día 13 de febrero del 2005 y 10 días después se registro el valor mínimo de EM.

Durante todo el periodo de evaluación de la pradera no se produjo ninguna alza ni baja drástica en el contenido de EM, manteniéndose en todo momento por sobre las 2,7 Mcal.

Con respecto al contenido de PB de la pradera ubicada en Llanquihue, existió un alza muy importante de aproximadamente 10 unidades porcentuales en un corto periodo de tiempo, coincidente con la aplicación del fertilizante nitrogenado (Nitromag - 27% N) en septiembre del 2005. El día 21 de septiembre se registró un valor de PB de 21,56% y el día 28 del mismo mes 31,23%. También es posible observar el mismo efecto de la fertilización nitrogenada, sobre el contenido de PB, en las praderas evaluadas en Valdivia y Osorno.

En praderas fertilizadas con N en primavera, la concentración de PB y de N no proteico del forraje se incrementa violentamente en la primera semana post aplicación y luego comienza gradualmente a descender, cuando las dosis aplicadas son bajas (cerca de 28 kg N/ha por aplicación), pero estas concentraciones pueden permanecer altas por más de dos semanas si las dosis son elevadas (Whitehead, 1995, citado por PARGA, 2003).

Según Pichard (1993), citado por ALAMOS (2004), cuando las praderas poseen un contenido de proteína de 14 a 18% y un nivel de energía metabolizable de 2,3 a 2,6 Mcal/kg MS son capaces de sustentar niveles de producción animal considerablemente elevados. Además, es en la época de primavera donde se encuentran estos valores, los cuales disminuyen en la medida en que se llega al periodo estival, donde las interacciones del clima con la fenología de la planta hacen que la pradera disminuya su tasa de crecimiento y acelere las fases reproductivas, reduciendo considerablemente la cantidad de tejido vegetativo. Esto resulta en una mayor fibrosidad, menor contenido de proteína y menor nivel de energía aprovechable por los animales.

4.2.2 Materia Seca.

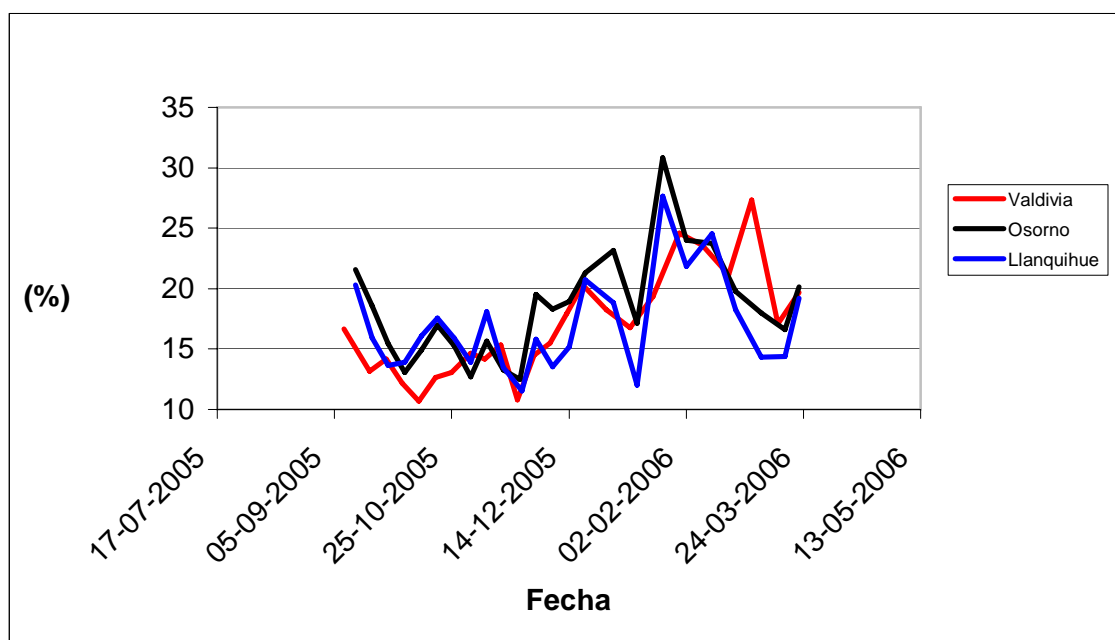


FIGURA 15 Evolución del contenido de materia seca (%) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región.

En los Anexos 1, 2 y 3 y Figura 15 es posible apreciar la evolución del contenido de materia seca de las praderas evaluadas, a partir de primavera del 2005 hasta otoño del 2006, en Valdivia, Osorno, Llanquihue y su evolución conjunta respectivamente.

El contenido de materia seca (MS) de la pradera ubicada en Valdivia fluctuó entre 10,71 y 27,31%, registrándose el primer valor el 11 de octubre del 2005 y el segundo el 2 de marzo del 2006. En el Anexo 1 es posible apreciar que existió la tendencia de aumentar el contenido de MS del forraje analizado a medida que avanzó la estación de primavera y verano, aumento del contenido de MS que se relaciona con el estado fenológico más avanzado de las especies que constituyen la pradera.

El contenido de MS del forraje recolectado en la pradera ubicada en Osorno llegó a su máximo valor el día 23 de enero del 2006, correspondiendo a 30,81%, y alcanzó su valor mínimo (12,5%) el día 23 de noviembre del 2005. Por otro lado, en Llanquihue se registró un valor mínimo de 11,53% y un valor máximo de 27,67%. En este último sitio existió una evolución del contenido de materia seca del forraje relativamente irregular, aunque sin grandes variaciones, desde el comienzo del periodo de evaluación de la pradera hasta fines de enero del 2006, mes en el que alcanzó su máximo valor (Anexo 3).

Según ANRIQUE *et al.*, (1995), el contenido de MS de una pradera permanente fertilizada en la Décima Región se encuentra dentro del rango 13,2-42,4%, presentándose el primer valor en octubre y el segundo en febrero.

Los contenidos de MS registrados en ningún momento fueron inferiores a 10,71% y no fueron mayores a 30,81%, situación que indica que el crecimiento vegetativo de las especies que forman parte de la pradera se mantuvo por un mayor periodo de tiempo y que el aumento del contenido de materia seca de las muestras se mantuvo bajo al evitar un paso generalizado de las especies pratenses a estado reproductivo debido a la utilización por corte de la pradera, presentándose como un ejemplo de la composición nutricional que se podría obtener al implementar un sistema de pastoreo eficiente.

Es así como el contenido de MS de las praderas evaluadas se encuentra dentro del rango esperado aunque el valor mínimo registrado durante este estudio es un poco menor y el valor máximo es mucho menor al promedio de la Décima Región según lo presentado por ANRIQUE *et al.*, 1995.

4.2.3 Proteína Bruta.

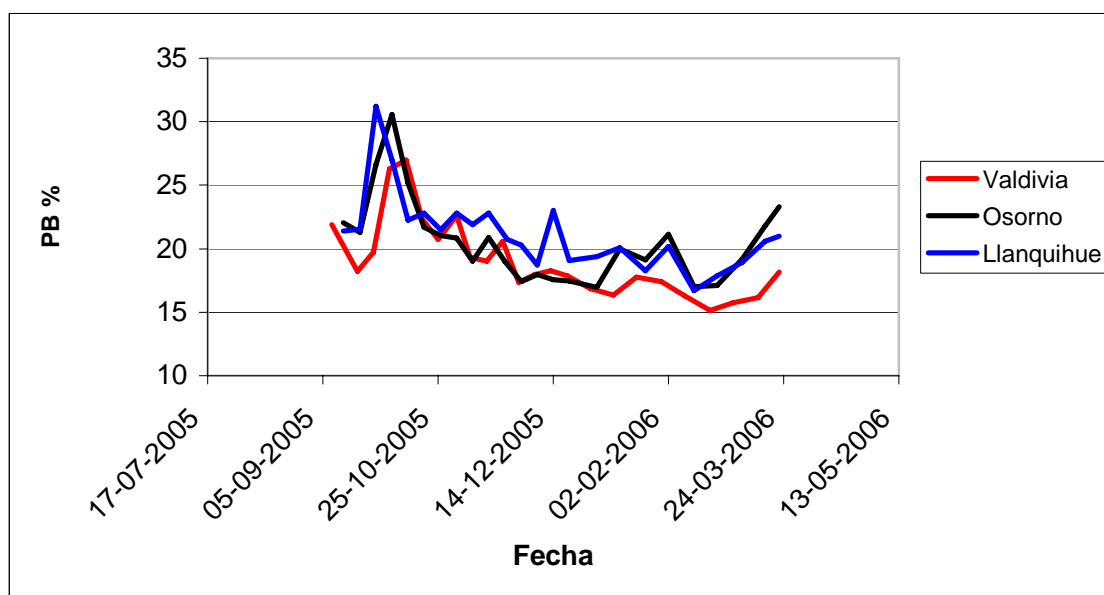


FIGURA 16 Evolución del contenido de proteína bruta (%) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región.

El contenido de proteína bruta del forraje recolectado en la pradera ubicada en Valdivia fue máximo al comienzo del mes de octubre, llegando a 26,97% y fue mínimo el día 20 de febrero del 2006 (15,14%) (Anexo 4). Al igual que lo ocurrido en Valdivia, la pradera evaluada en Osorno logró su máximo contenido de PB a comienzos de octubre (Anexo 5), no así la pradera ubicada en Llanquihue que lo alcanzó a fines de septiembre (Anexo 6).

Es importante recordar que en cada cambio de estación del año se aplicó 40 unidades de Nitrógeno/ha, utilizando el fertilizante nitrogenado "Nitrato de Amonio Magnesico" (Nitromag, 27% N). Durante el periodo de evaluación de las praderas se aplicó la dosis de fertilización ya indicada el día 21 de septiembre y 21 de diciembre del 2005. Lo importante de lo mencionado en el párrafo anterior se refiere al gran aumento en el contenido de PB registrado en las muestras de forraje analizadas en las fechas inmediatamente sucesivas a la fertilización,

situación que deja en evidencia el gran efecto de la fertilización nitrogenada en el contenido de PB del forraje, principalmente en lo que se refiere a las especies gramíneas.

Por ejemplo en el caso de la pradera ubicada en Valdivia se registró un aumento en el contenido de PB de 8,77 unidades porcentuales en un periodo de tiempo de 21 días. En el caso de las praderas ubicadas en Osorno y Llanquihue el aumento del contenido de PB del forraje fue mayor (desde la aplicación del fertilizante nitrogenado hasta el registro del valor máximo) al aumento registrado en la pradera ubicada en Valdivia, y por otro lado, el tiempo desde la fertilización hasta el registro del valor máximo de PB fue menor.

La fertilización tiene un gran efecto en la producción de materia seca, aumentando notablemente en los casos en que se adopta un plan de fertilización. El efecto de la fertilización sobre el valor nutritivo no es tan marcado. Se ha encontrado en algunos experimentos que la aplicación de nitrógeno aumentaría el contenido de proteína; sin embargo, el nivel de carbohidratos solubles tiende a declinar, lo cual hace que el contenido de energía no se modifique mayormente (Blazer, 1964; Colovos *et al.*, (s/f), citados por ALAMOS, 2004).

Los valores máximos de PB registrados en las praderas evaluadas son muy superiores al valor máximo de PB (23,66%) presentado por BRAVO (2006) para praderas permanentes naturalizadas de la Décima Región. El valor promedio mínimo de PB presentado por BRAVO (2006) para praderas permanentes de la Décima Región es 9,76%, siendo cerca de un 65% del contenido mínimo de PB registrado en las praderas evaluadas.

4.2.4 Proteína Soluble. Se debe señalar en primer lugar que la proteína soluble se encuentra como porcentaje de la proteína bruta y no como porcentaje de la materia seca.

En los Anexos 7-9 y Figura 17 es posible apreciar la evolución del contenido de proteína soluble (% PB) de praderas permanentes ubicadas en Valdivia, Osorno, Llanquihue y su evolución comparada respectivamente.

En términos generales el contenido de PS de las praderas evaluadas nunca fue inferior a 2,44% (0,43% b.m.s.) y no sobrepasó el 11,48% de la PB y el 3,51% de la materia seca.

Es importante resaltar el alto grado de asociación que existe entre la proteína bruta y proteína soluble, y viceversa, alta asociación que es posible de evidenciar al observar el coeficiente de correlación que comparten ambos parámetros de calidad nutricional (Anexo 22).

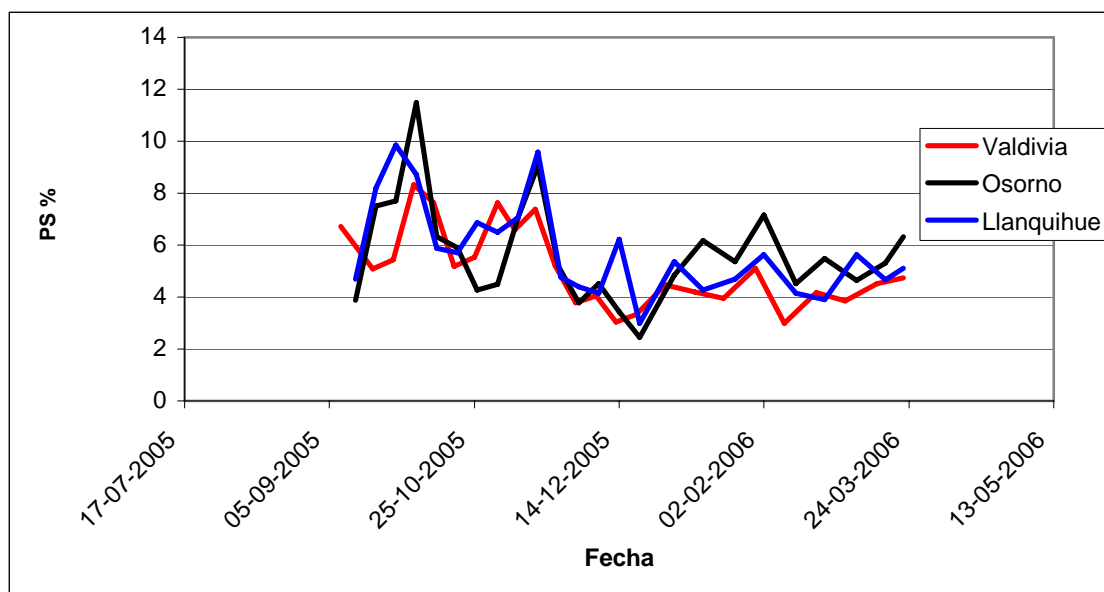


FIGURA 17 Evolución del contenido de proteína soluble (% PB) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X región.

4.2.5 Energía metabolizable.

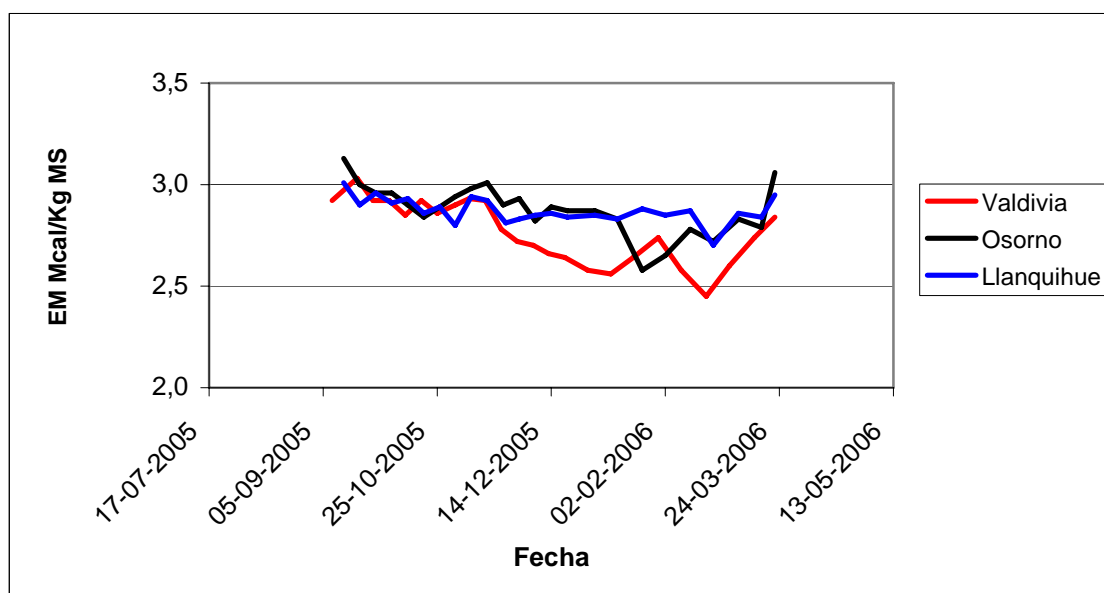


FIGURA 18 Evolución del contenido de energía metabolizable (Mcal/kg MS) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región.

La EM se estimó a partir de una ecuación de regresión lineal desarrollada en función del valor D, siendo el valor D el contenido de materia orgánica digestible, como porcentaje de la materia seca, determinada *in vitro*.

Como se mencionó en párrafos anteriores los valores máximos de EM se presentaron alrededor de 20 días antes que se presentaran los valores máximos de PB. Los valores máximos registrados de EM en las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue fueron de 3,03, 3,13 y 3,01 Mcal/kg MS respectivamente, siendo los valores promedios de EM para el periodo evaluado (Septiembre 2005 – Marzo 2006) 2,77, 2,88 y 2,87 Mcal/kg MS respectivamente.

Tanto ANRIQUE *et al.*, (1995) como BRAVO (2006), registraron concentraciones máximas de EM mas bajas en praderas permanentes de la

Décima Región. Los contenidos promedio máximos y mínimos de EM de praderas permanentes según ANRIQUE *et al.*, (1995) son de 2,55 y 1,93 Mcal/kg MS y según BRAVO (2006) son de 2,77 y 2,07 Mcal/kg MS respectivamente.

La evolución del contenido de EM de las praderas evaluadas se puede apreciar en los Anexos 10, 11 y 12 y Figura 18 para Valdivia, Osorno, Llanquihue y comparado respectivamente.

Es interesante notar el grado de asociación que existe entre los valores de EM y los valores de PB y carbohidratos solubles. La correlación existente entre ellos (Anexo 22) indica que tienden a aumentar o disminuir de manera conjunta en el tiempo.

4.2.6 Fibra detergente neutro.

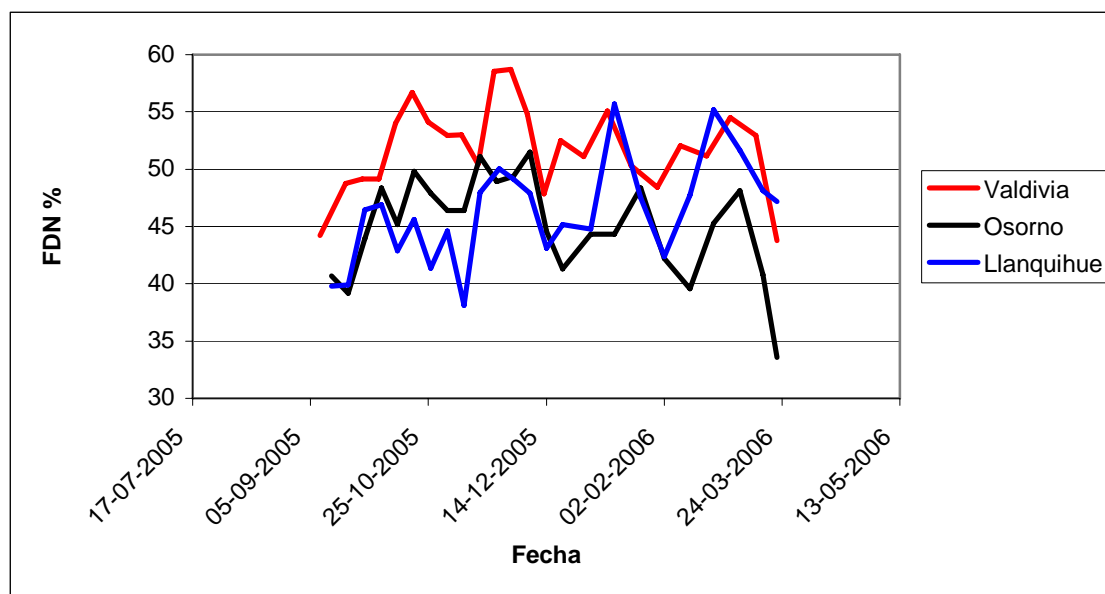


FIGURA 19 Evolución del contenido de fibra detergente neutro (%) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X región.

Los contenidos de FDN observados, desde septiembre del 2005 hasta marzo del 2006, se presentan en los Anexos 13, 14 y 15 y Figura 19 para Valdivia, Osorno, Llanquihue y la evolución conjunta entre sitios respectivamente.

El contenido de FDN de la pradera ubicada en Valdivia nunca fue menor a 43,76% y no sobrepasó en ningún momento el 58,74% de la materia seca. El valor mínimo de FDN se registró el día 22 de marzo del 2006 y el valor máximo el día 29 de noviembre del 2005. De la misma manera BRAVO (2006) registró un valor promedio máximo para FDN en praderas permanentes de 56,38% durante enero y un valor mínimo de 41,46% en septiembre, valores no iguales pero bastante similares a los registrados en este estudio.

La tendencia del comportamiento del contenido de FDN del forraje recolectado en la pradera de Valdivia fue de describir una curva tipo campana poco pronunciada, alcanzando su máximo valor con posterioridad al máximo crecimiento del forraje registrado y cuando la tasa de crecimiento diaria de la pradera comenzó a ser decreciente.

En la pradera de Osorno se registraron valores de FDN máximos y mínimos de 51,5 y 33,6% respectivamente, con fecha 7 de diciembre del 2005 el primer valor y 22 de marzo del 2006 el segundo.

En el caso de la pradera ubicada en Llanquihue el valor máximo de FDN registrado durante el periodo de evaluación fue de 55,71% (12-01-2006) y el valor mínimo de 38,11% (09-11-2005).

Es importante mencionar la fuerte correlación obtenida entre el contenido de FDN de las muestras de praderas analizadas, sin importar el sitio, y el

contenido de fibra detergente ácido (FDA), lográndose el más alto coeficiente de correlación ($r = 0,79$) calculado entre todos los nutrientes considerados.

Con respecto al requerimiento de FDN de vacas lecheras de alta producción en lactancia, los valores mínimos de fibra detergente neutro registrados en las tres praderas evaluadas superaron el valor máximo de FDN recomendado de 33% de la materia seca (rango 28-33% MS), para lograr un funcionamiento óptimo del rumen (LATRILLE, 1996). Valores mayores pueden traducirse en un menor consumo voluntario de materia seca y menor digestibilidad total de la ración.

4.2.7 Fibra detergente ácido. Los valores máximos de fibra detergente ácido (FDA) registrados en Valdivia, Osorno y Llanquihue fueron de 32,05, 27,88 y 27,65% respectivamente, siendo los valores mínimos de 24,22, 18,62 y 18,31% para cada una de las localidades en el mismo orden.

A pesar de la alta correlación existente entre FDA y FDN ($r = 0,79$; Anexo 22) los valores máximos y mínimos registrados no ocurrieron por lo general de manera simultánea.

Según LATRILLE (1996), para mantener un buen funcionamiento del rumen en vacas lecheras en lactancia, la concentración de FDA en la materia seca debe fluctuar entre 19 y 24%. Los promedios de FDA de las praderas en Valdivia, Osorno y Llanquihue fueron de 27,89; 24,21 y 23,01% respectivamente.

El comportamiento de la FDA, durante el periodo de evaluación de las praderas para el presente estudio, se puede apreciar en el Anexo 16 para la pradera ubicada en Valdivia, en el Anexo 17 para la ubicada en Osorno, en el

Anexo 18 para la ubicada en Llanquihue y la evolución conjunta en las tres localidades en la Figura 20.

BRAVO (2006), indica que el contenido de FDA de praderas permanentes naturalizadas llega a valores promedios máximos de 38,46% y a valores mínimos de 24,05%, valores que son mas altos a los presentados en este capitulo para la misma fracción.

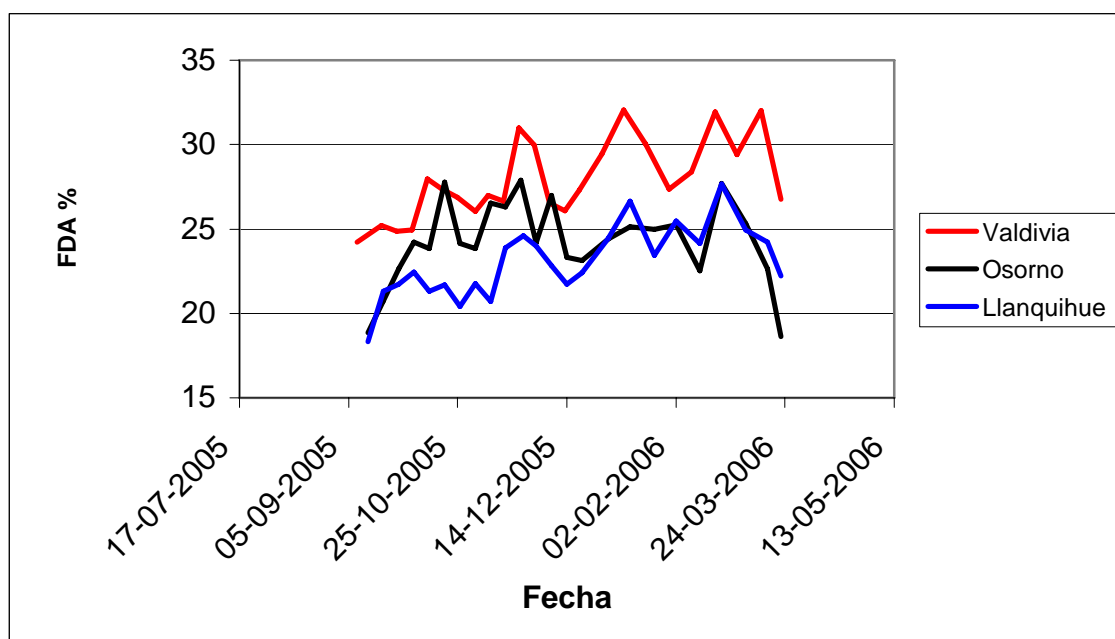


FIGURA 20 Evolución del contenido de fibra detergente ácido (%) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región.

4.2.8 Carbohidratos solubles. En los Anexos 19-21 es posible apreciar la evolución del contenido de CHO_s de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue respectivamente. En la Figura 21 se presenta la evolución conjunta del contenido de CHO_s de las tres praderas.

El grupo de los Carbohidratos solubles (en agua fría) se encuentra conformado por polisacáridos no estructurales y otros azúcares de bajo peso

molecular de rápida degradación ruminal, siendo los principales: pectinas, fructosanos, glucosa, fructosa, sacarosa, gomas y mucílagos.

Sin importar la localidad, el contenido de CHO_S fluctuó entre 20,82 y 98,99 g/kg MS. Los valores máximos registrados en cada una de las praderas evaluadas se presentaron desde el 14 al 20 de septiembre del 2005.

Los valores mínimos registrados fueron de 20,82, 21,89 y 25,44 g/kg MS en Valdivia, Osorno y Llanquihue respectivamente.

Si bien los valores máximos registrados en cada una de las praderas evaluadas se presentaron en un periodo de tiempo relativamente corto (6 días), los valores mínimos registrados se presentaron dentro de un periodo de tiempo mucho mayor (106 días).

Los valores máximos de CHO_S registrados coincidieron con los valores máximos registrados de energía metabolizable en la localidad correspondiente.

El coeficiente de correlación que asocia el contenido de CHO_S y el contenido de EM del total de muestras analizadas es de 0,51, correlación que explica en parte la ocurrencia simultánea de los valores máximos de ambos parámetros de calidad nutricional en las tres localidades evaluadas.

Según BALOCCHI (2004), el contenido de CHO_S no es estable en las diferentes fases de desarrollo de las especies vegetales, por el contrario, éste fluctúa a través de los distintos estados fenológicos y tiende a aumentar a medida que avanza la estación de crecimiento.

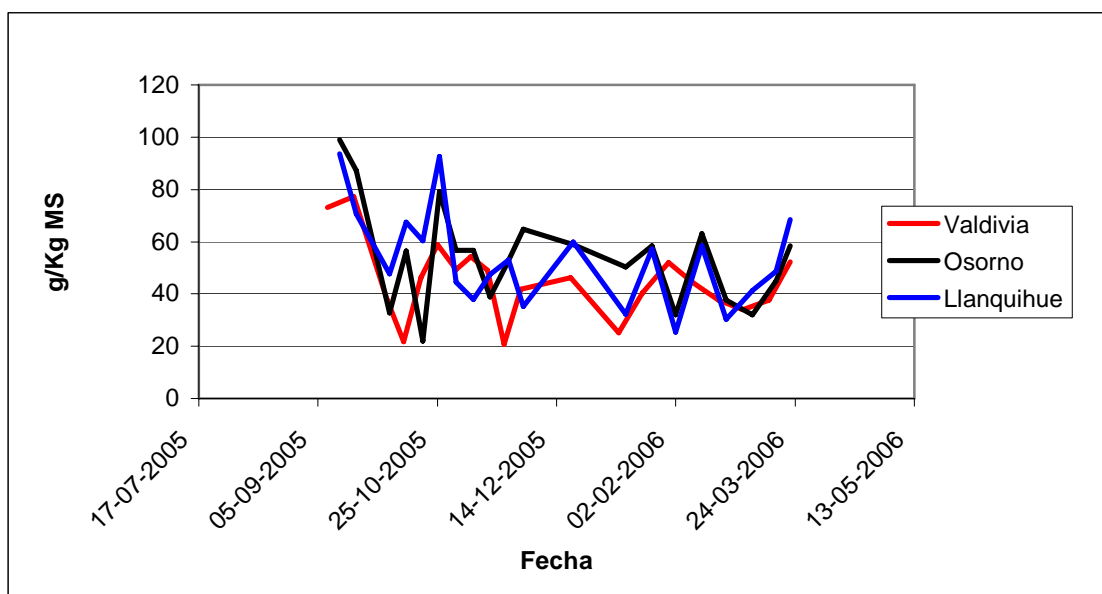


FIGURA 21 Evolución del contenido de Carbohidratos solubles (g/kg MS) de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, X Región.

El disponer de información de tasa de crecimiento de la pradera, asociada a composición nutricional, es de gran utilidad ya que permite conocer la situación de producción actual de los sistemas pastoriles y determinar cuan lejos están de su potencial productivo y de esta manera definir las mejores estrategias que permitan llegar a este potencial. Además, ésta información es de gran importancia para la administración ya que permite tomar decisiones con respecto al manejo del pastoreo y conservación de forraje a lo largo del año.

4.3 Ecuaciones de calibración NIRS.

En los Cuadros 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 se presentan los indicadores estadísticos que caracterizan las cinco ecuaciones de calibración obtenidas a partir de los tratamientos matemáticos especificados para PB, PS, EM, FDN, FDA, CHO_s, MS y CT, respectivamente.

Las ecuaciones han sido ordenadas en forma descendiente con respecto a su valor predictivo, que fue obtenido a partir de la relación DS/SECV, indicando un mayor valor un mejor carácter predictivo de la ecuación correspondiente.

En todas las tablas se presenta la siguiente información: Tratamiento matemático utilizado para generar cada ecuación (CDL[Corrección de dispersión de luz]+TM), número de muestras en el set de calibración (N), coeficiente de determinación de calibración (R^2) y validación cruzada (1-VR), error estándar de calibración (SEC) y validación cruzada (SECV) y relación DS/SECV. Además se expone en forma grafica la mejor ecuación de calibración obtenida para cada fracción, relacionando los valores predichos por NIRS a los datos analíticos de referencia.

En relación a las ecuaciones de calibración obtenidas por CUEVAS (2005), todas las ecuaciones de calibración aquí presentadas poseen un similar poder de predicción a excepción de la mejor ecuación de calibración obtenida para EM y FDA que tienen un valor superior de DS/SECV.

CUEVAS (2005), citando a Montgomery y Runger (1996), indica que la adición de una variable al modelo siempre aumenta el R^2 , sin importar si la variable es o no estadísticamente significativa, sin embargo, los coeficientes de determinación de calibración (R^2) obtenidos para cada una de las mejores ecuaciones de calibración para los distintos nutrientes considerados en el presente estudio tienen valores inferiores a los correspondientes a las mejores ecuaciones de calibración presentadas por CUEVAS (2005) quien trabajó por lo general con no más de 100 variables (muestras), muy por debajo de las 224 muestras utilizadas para desarrollar las ecuaciones de calibración aquí presentadas.

4.3.1 Proteína bruta. Los indicadores estadísticos correspondientes a cada una de las ecuaciones de calibración desarrolladas para esta fracción se presentan en el Cuadro 12.

Se mencionó con anterioridad que el principal criterio discriminador de una ecuación e indicador de su eficiencia predictiva corresponde a la relación DS/SECV. Es posible apreciar en el Cuadro 12 que el valor de esta relación supera ampliamente el criterio propuesto por Kennedy *et al.*, (1995), citado por CUEVAS (2005), quienes señalan que una ecuación de calibración apropiada será aquella donde el SECV sea inferior o igual a un tercio de la desviación estándar, es decir, valores superiores a 3,0. En todas las ecuaciones de calibración obtenidas para proteína bruta, los valores resultantes de la relación DS/SECV en ningún caso fueron menores a 7,22, siendo el valor más alto de 7,65, el cual, sin embargo es inferior al de 8,65 obtenido por CUEVAS (2005) para la misma relación y fracción, indicando la menor eficiencia predictiva de la mejor ecuación de calibración presentada en este capítulo para PB en relación a la obtenida por CUEVAS (2005).

Es importante señalar que el menor valor producto de la relación DS/SECV se explica por una menor DS dentro del set de muestras de calibración, lo que indica que el grupo de muestras utilizadas para llevar a cabo esta calibración es más homogéneo en su composición nutricional, en relación al contenido de PB en particular. Además, el SECV es menor para la mejor ecuación de calibración aquí presentada, indicando un menor error asociado a la predicción y confirmando el menor valor de la DS al indicar un grupo de muestras de calibración más homogéneo.

Se debe indicar que la mejor ecuación de calibración aquí presentada posee un elevado poder predictivo al estar formado el set de calibración por muestras correspondientes a distintos años, situación que le confiere mayor

confiabilidad en la predicción, ya que las muestras consideradas representan mas fielmente la variación en el contenido de PB de las praderas dentro de un mismo año y entre años.

CUADRO 12 Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para proteína bruta.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	DS/SECV	SEC	R ²	RANGO
SNV-D	2-5-5-1	210	0,983	0,707	20,866	5,412	7,65	0,497	0,992	8,12-37,32
SNV-D	1-5-5-1	207	0,983	0,724	20,978	5,483	7,57	0,546	0,99	8,12-37,32
SNV-D	1-12-12-1	206	0,982	0,732	21,111	5,456	7,45	0,567	0,989	8,12-37,32
SNV-D	2-8-8-1	209	0,982	0,737	20,899	5,467	7,42	0,564	0,989	8,12-37,32
SNV-D	1-8-8-1	210	0,981	0,761	21,019	5,491	7,22	0,584	0,989	8,12-37,32

CDL: Corrección de dispersión de luz, **TM:** Tratamiento matemático, **N:** Numero de muestras en el set de calibración, **1-VR:** Coeficiente de determinación de validación, **SECV:** Error estándar de validación cruzada, **PROM:** Promedio de los valores de laboratorio, **DS:** Desviación estándar, **DS/SECV:** Relación entre DS y SECV, **SEC:** Error estándar de calibración, **R²:** Coeficiente de determinación de calibración, **RANGO:** Rango de los valores de laboratorio.

La mejor ecuación de calibración para la fracción de proteína bruta se obtuvo con un tratamiento matemático de diferenciación de segundo orden junto al método de corrección de dispersión de luz de SNV-Detrend. El tratamiento matemático utilizado que permitió obtener la mejor ecuación de calibración es 2-5-5-1, sin embargo, CUEVAS (2005) obtuvo la mejor ecuación de calibración para esta fracción utilizando un TM de 1-12-12-1, situación que se explica por la mayor cantidad de muestras utilizadas para desarrollar la ecuación de calibración aquí presentada, ya que una segunda derivada significa que la resolución de las bandas de absorción para determinar PB requiere de una mayor descomposición de las combinaciones de picos que forman el espectro.

El coeficiente de determinación de calibración (R^2) y el coeficiente de determinación de predicción (1-VR) tienen valores de 0,992 y 0,983 respectivamente para la mejor ecuación de calibración obtenida para PB,

indicando el primero un elevado grado de ajuste de los datos predichos en relación a los reales o de referencia y el segundo un buen carácter predictivo de la ecuación desarrollada.

Es importante señalar que el R^2 y el $1-VR$ son muy próximos a los que caracterizan a la mejor ecuación obtenida por CUEVAS (2005) para esta fracción, 0,994 y 0,987 respectivamente, indicando un carácter predictivo de ambas ecuaciones muy similar.

En la Figura 22 es posible observar la excelente relación existente entre los datos de referencia u observados y los predichos por NIRS para proteína bruta al utilizar la ecuación desarrollada para predecir el contenido de PB de una muestra de pradera.

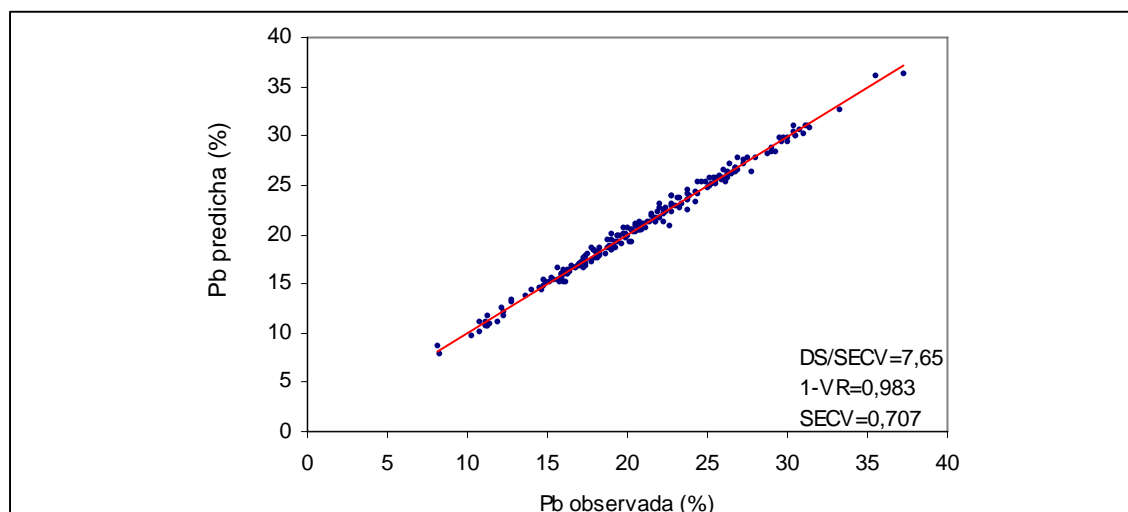


FIGURA 22 Relación entre proteína bruta (%) y su predicción por NIRS.

4.3.2 Proteína soluble. Los parámetros correspondientes a las cinco ecuaciones de calibración desarrolladas para esta fracción se presentan en el Cuadro 13. El tratamiento matemático que permitió obtener la ecuación de calibración con el mejor carácter predictivo es 2-12-12-1 junto al método de corrección de luz de SNV-D.

La mejor ecuación de calibración desarrollada por CUEVAS (2005), para PS, requirió de un tratamiento matemático de diferenciación con derivada de segundo orden, aunque el TM en sí fue distinto, siendo 2-8-8-1, TM que originó la ecuación de calibración que posee el carácter predictivo mas débil dentro de todas las presentadas en el Cuadro 13.

CUADRO 13 Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para proteína soluble.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	DS/SECV	SEC	R2	RANGO
SNV-D	2-12-12-1	210	0,922	0,983	7,409	3,529	3,59	0,809	0,947	2,09-20,98
SNV-D	2-5-5-1	211	0,913	1,033	7,427	3,524	3,41	0,786	0,95	2,09-20,98
SNV-D	1-12-12-1	211	0,911	1,034	7,344	3,48	3,37	0,888	0,935	2,09-20,98
SNV-D	1-8-8-1	209	0,904	1,013	7,227	3,28	3,24	0,824	0,937	2,09-17,14
SNV-D	2-8-8-1	212	0,901	1,068	7,352	3,399	3,18	0,858	0,936	2,09-18,13

Tanto el coeficiente de determinación de calibración como el coeficiente de determinación de validación poseen valores mayores a 0,9, pero de todas maneras inferiores a los valores obtenidos por CUEVAS (2005), quien logró obtener una ecuación de calibración con un valor de 4,275 para DS/SECV, 0,98 para R^2 y de 0,945 para 1-VR, a pesar de poseer en el set de calibración utilizado menos de la mitad de las muestras que las que fueron empleadas para calcular las ecuaciones de calibración aquí presentadas.

A pesar de que el valor producto de la relación DS/SECV no se encuentra muy por sobre el valor crítico especificado (3,0), el carácter predictivo de la mejor ecuación de calibración obtenida para esta fracción es apropiado para predecir mediante la técnica NIRS muestras de praderas.

En la Figura 23 es posible apreciar el buen carácter predictivo que tiene la mejor ecuación de calibración aquí presentada para PS.

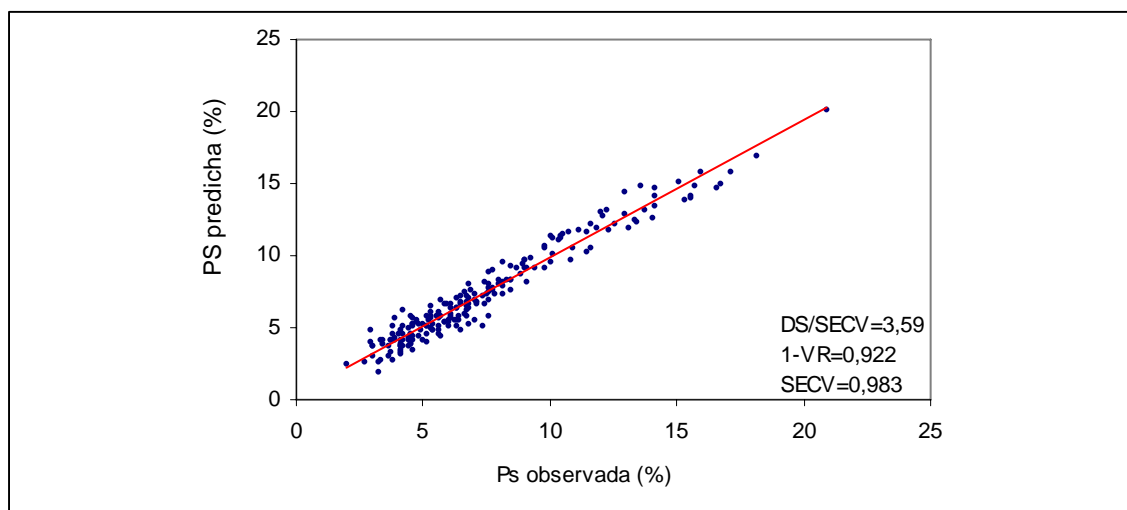


FIGURA 23 Relación entre proteína soluble (%) y su predicción por NIRS.

4.3.3 Energía metabolizable. En el Cuadro 14 se presentan las ecuaciones de calibración obtenidas para esta fracción, ordenadas de mayor a menor eficiencia predictiva. La mejor ecuación de calibración obtenida posee un valor de DS/SECV de 2,95, valor que es superior al obtenido por CUEVAS (2005) (2,554) para el mismo índice en su mejor ecuación de calibración para esta fracción. La mayor eficiencia predictiva de la ecuación de calibración aquí presentada, en relación a la presentada por CUEVAS (2005), se debe fundamentalmente a que posee un bajo Error Estándar de Validación Cruzada (SECV).

El tratamiento matemático que permitió obtener la mejor ecuación de calibración fue 2-8-8-1 y SNV-D.

Es importante indicar que los bajos valores registrados para el Error Estándar de Calibración y Validación cruzada, junto a un coeficiente de determinación de calibración sobre 0,9 indican un adecuado (no óptimo) valor predictivo para la ecuación de calibración seleccionada, que sin duda puede ser mejorado al agregar nuevas muestras al set de calibración. Se debe recordar

que uno de los criterios que permite discriminar la potencialidad de una u otra ecuación de calibración para realizar una buena predicción es el que se basa en efectuar la selección de acuerdo a elevados coeficientes de determinación (R^2) y bajos SEC.

CUADRO 14 Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para energía metabolizable.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	DS/SECV	SEC	R2	RANGO
SNV-D	2-8-8-1	206	0,891	0,062	2,741	0,183	2,95	0,049	0,928	2,15-3,13
NONE	1-12-12-1	209	0,844	0,072	2,738	0,182	2,53	0,062	0,885	2,15-3,13
NONE	2-12-12-1	211	0,832	0,078	2,735	0,189	2,42	0,068	0,871	2,11-3,13
NONE	2-8-8-1	213	0,81	0,084	2,733	0,192	2,29	0,061	0,9	2,11-3,13
NONE	2-5-5-1	211	0,79	0,085	2,741	0,181	2,13	0,07	0,852	2,15-3,13

En la Figura 24 se presenta la relación que existe entre los valores arrojados por el método analítico de referencia para EM (Regresión a partir del valor "D") y su predicción por la técnica NIRS.

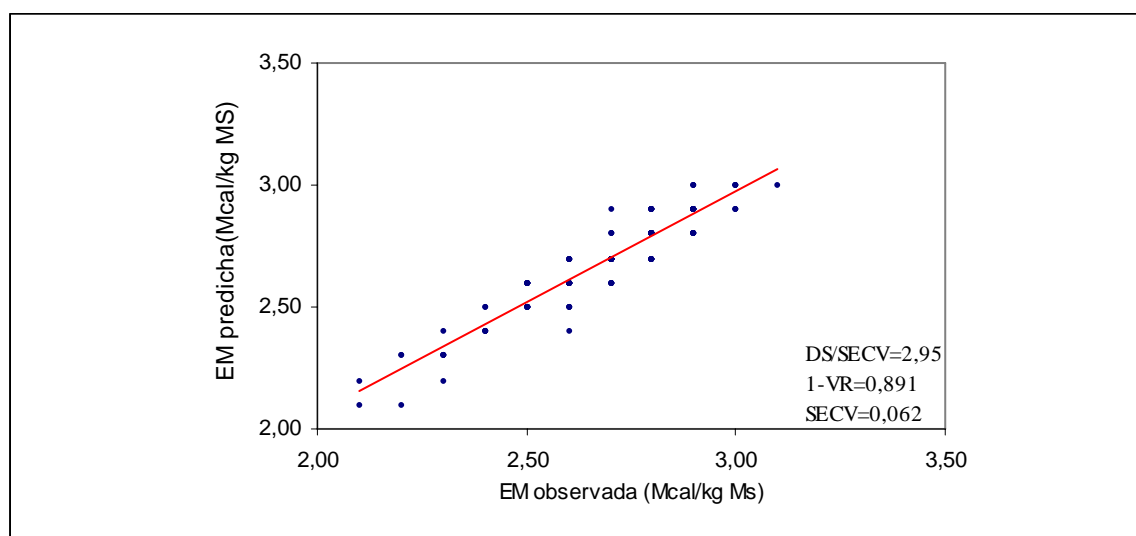


FIGURA 24 Relación entre energía metabolizable (Mcal/kg MS) y su predicción por NIRS.

Si bien el valor producto de la relación DS/SECV no supera el valor mínimo deseado de 3,0, que indica una buena habilidad predictiva de una ecuación, el valor de 2,95 es muy próximo, situación que permite la utilización de esta ecuación de calibración con confianza.

La baja cantidad de puntos a lo largo de la línea de tendencia en la Figura 24 se explica principalmente por la gran cantidad de muestras que poseen el mismo contenido de EM y cuyo valor predicho por NIRS también fue igual, ubicándose cada par de datos sobre el plano en la misma coordenada. Es así como 50 muestras tuvieron una concentración de 2,8 Mcal/kg MS y 40 una concentración de 2,7 Mcal/kg MS y fueron predichas de una manera bastante exacta, concentrándose los 90 pares de datos en dos puntos distintos sobre el plano.

4.3.4 Fibra detergente neutro. La mejor ecuación de calibración para FDN se obtuvo con el tratamiento matemático 2-5-5-1 y SNV-Detrend (Cuadro 15).

Es importante indicar que al parecer no siempre se obtiene la mejor ecuación de calibración utilizando tratamientos de diferenciación de segundo orden junto a una corrección por dispersión de luz (SNV-D). En este sentido, CUEVAS (2005) obtuvo la mejor ecuación de calibración para esta fracción aplicando un tratamiento matemático de 2-8-8-1 y sin corrección por dispersión de luz (NONE).

El tratamiento SNV-D, corresponde a un método de corrección combinado que permite, mediante SNV, eliminar la interferencia multiplicativa o dispersión, reduciendo el efecto de tamaño de partícula mediante el ajuste de cada espectro para obtener una desviación estándar de 1,0. En base a Detrend, eliminar la tendencia lineal y cuadrática presente en el espectro de reflectancia (INFRA-SOFT INTERNATIONAL, 1992).

El valor de 3,47, producto de la división entre DS y SECV, permite afirmar que la ecuación de calibración aquí presentada posee el potencial de predecir el contenido de FDN de muestras de praderas permanentes con una buena exactitud. Además, esta ecuación posee un elevado coeficiente de determinación de calibración (0,952) y de predicción (0,918).

Los resultados obtenidos por CUEVAS (2005) son mejores que los obtenidos acá, presentando su mejor ecuación de calibración para FDN un valor de 5,305 para DS/SECV, 0,989 para R^2 , 0,753 para SEC, 0,965 para 1-VR y 1,366 para SECV, a pesar de contar sólo con 93 muestras en el set de calibración, en oposición a las 211 muestras utilizadas para generar la mejor ecuación de calibración obtenida.

Es posible apreciar en la Figura 25 el buen ajuste de los datos predichos en relación a los datos observados o de referencia. La cercanía de los puntos graficados a la línea de igual tendencia indica que existe poca diferencia entre los datos de referencia y los predichos por NIRS.

CUADRO 15 Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para fibra detergente neutro.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	DS/SECV	SEC	R2	RANGO
SNV-D	2-5-5-1	211	0,918	1,795	47,072	6,228	3,47	1,367	0,952	25,74-65,66
NONE	2-5-5-1	208	0,908	1,897	46,981	6,296	3,32	1,332	0,955	25,74-65,66
SNV-D	2-12-12-1	205	0,908	1,819	47,196	6,006	3,30	1,41	0,945	25,74-65,66
NONE	2-8-8-1	213	0,889	2,092	46,99	6,272	3,00	1,434	0,948	25,74-65,66
NONE	2-12-12-1	207	0,871	2,068	47,397	5,691	2,75	1,425	0,937	33,08-65,66

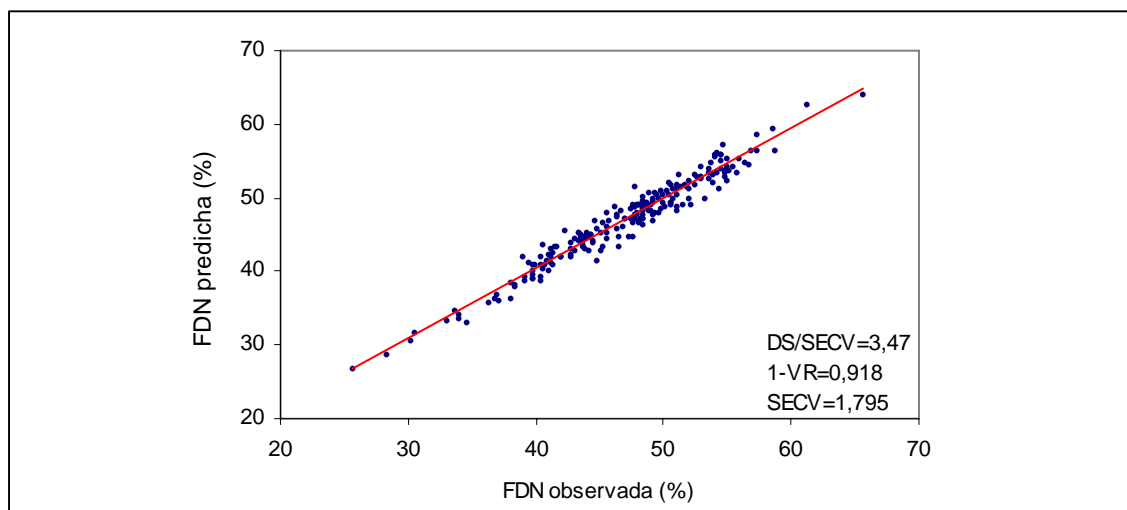


FIGURA 25 Relación entre fibra detergente neutro (%) y su predicción por NIRS.

4.3.5 Fibra detergente ácido. En el Cuadro 16 se presentan las cinco ecuaciones de calibración desarrolladas para esta fracción, basadas en los cinco mejores tratamientos matemáticos en conjunto al método de Corrección de Dispersión de Luz utilizado por CUEVAS (2005) para obtener sus mejores cinco ecuaciones de calibración para FDA. Además las ecuaciones de calibración se encuentran ordenadas de mayor a menor potencial predictivo de acuerdo a los valores de DS/SECV de cada una, indicando un mayor valor una mayor eficiencia de predicción.

El tratamiento matemático que permitió lograr la mejor ecuación de calibración fue 2-8-8-1 y SNV-D, con 216 muestras en el set de calibración, TM distinto al que permitió a CUEVAS (2005) obtener la mejor ecuación de calibración para FDA (TM FDA= 2-5-5-1 y SNV-D).

El principal criterio utilizado en esta discusión para evaluar el potencial predictivo de una ecuación de calibración se encuentra por sobre su valor mínimo, siendo el valor de DS/SECV de 3,92, valor que es superior al registrado

por CUEVAS (2005) (3,794) para su mejor ecuación de calibración para este constituyente. Según el criterio señalado, un mayor valor de DS/SECV indica un mayor potencial predictivo de la ecuación de calibración desarrollada, siendo los valores predichos por la técnica NIRS más próximos a los valores obtenidos con el análisis químico de referencia.

Por otro lado, la ecuación de calibración para FDN aquí presentada posee un elevado coeficiente de determinación de calibración ($R^2 = 0,96$) y de predicción ($1-VR = 0,935$) junto a un bajo Error Estándar de Calibración ($SEC = 0,77$) y de Validación Cruzada ($SECV = 0,978$), todos valores que confirman el potencial de predicción de esta ecuación de calibración.

CUADRO 16 Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para fibra detergente ácido.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	DS/SECV	SEC	R2	RANGO
SNV-D	2-8-8-1	216	0,935	0,978	25,515	3,837	3,92	0,77	0,96	16,27-37,58
SNV-D	2-5-5-1	209	0,924	1,016	25,51	3,708	3,65	0,676	0,967	17,53-34,78
NONE	2-12-12-1	213	0,924	1,058	25,446	3,801	3,59	0,774	0,959	16,27-37,58
NONE	2-8-8-1	209	0,904	1,126	25,586	3,632	3,23	0,745	0,958	17,53-34,78
NONE	2-5-5-1	210	0,9	1,183	25,589	3,759	3,18	0,785	0,956	17,53-37,58

En la Figura 26 es posible apreciar cuán cercanos son los datos arrojados por la técnica NIRS en relación a los datos de referencia.

Es adecuado observar la gran dispersión de valores a lo largo de la línea de tendencia, no existiendo una concentración de valores en algún punto en específico, sin embargo, los valores se encuentran con mayor frecuencia dentro del rango 20-30% FDA.

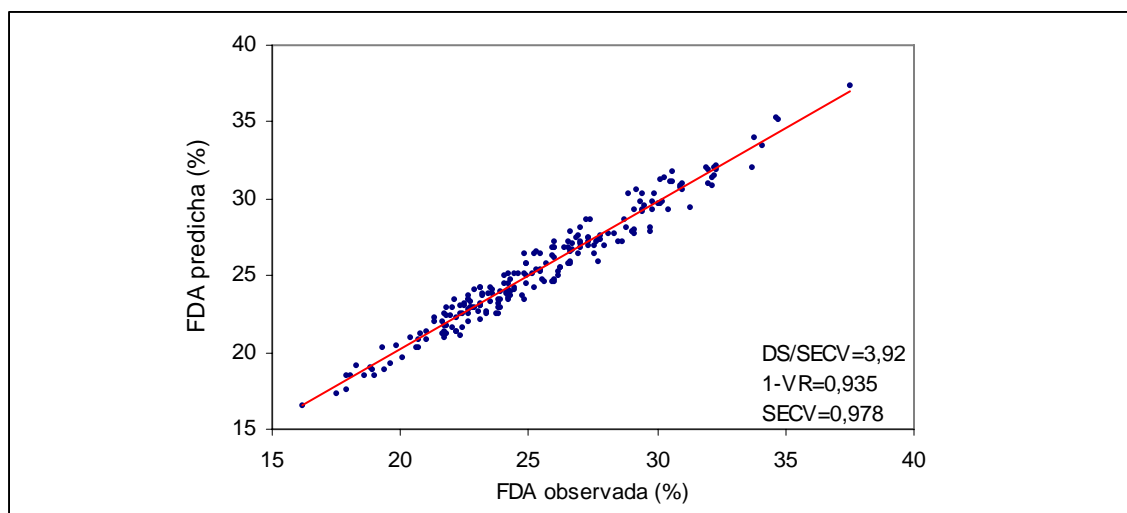


FIGURA 26 Relación entre fibra detergente ácido(%) y su predicción por NIRS.

4.3.6 Carbohidratos solubles. La mejor ecuación de calibración obtenida para esta fracción presenta uno de los valores más bajos para DS/SECV entre todos los nutrientes analizados, situación que probablemente se explica por englobar el termino “Carbohidratos solubles” varias moléculas orgánicas, presentando cada una de ellas peaks de absorción del infrarrojo cercano a diferentes longitudes de onda, situación que sin duda dificulta el análisis de regresión entre los valores de referencia y los predichos por NIRS.

En el Cuadro 17 se presentan las ecuaciones de calibración obtenidas para este constituyente, caracterizadas por los indicadores estadísticos propuestos. Los tres mejores tratamientos matemáticos utilizados para desarrollar las ecuaciones de calibración consideraron el empleo de un método de Corrección de Dispersión de Luz, SNV-D, mientras que las dos ecuaciones de calibración de menor potencial predictivo se obtuvieron sin un método CDL (NONE). El TM que permitió obtener la mejor ecuación de calibración para ésta fracción fue 2-5-5-1 y SNV-D, considerando 188 muestras en el set de calibración. El TM que permitió obtener la mejor ecuación de calibración para

carbohidratos solubles es el mismo con que CUEVAS (2005) logró obtener su mejor ecuación de calibración para el mismo constituyente, aunque el set de calibración estaba conformado solo por 87 muestras.

De acuerdo al criterio estadístico de selección de ecuaciones de calibración que indica que el valor producto de la relación DS/SECV debe ser como mínimo 3,0 para que una ecuación de calibración posea un adecuado poder de predicción, la ecuación de calibración aquí presentada no tendría un adecuado valor de predicción al ser el valor de DS/SECV de 2,72. Además, y confirmando un mesurado potencial de predicción, la mejor ecuación de calibración para CHO_s presentada posee un bajo coeficiente de determinación de predicción (1-VR = 0,864) y un alto Error Estándar de Validación Cruzada (SECV = 6,908), siendo éste valor el mayor de todos los correspondientes a todas las mejores ecuaciones de calibración presentadas para todas las fracciones analizadas.

CUADRO 17 Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para carbohidratos solubles.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	DS/SECV	SEC	R2	RANGO
SNV-D	2-5-5-1	188	0,864	6,908	48,681	18,771	2,72	4,632	0,939	7,33-108,1
SNV-D	2-12-12-1	187	0,856	7,067	48,73	18,73	2,65	6,443	0,882	7,33-108,1
SNV-D	2-8-8-1	191	0,832	7,595	48,578	18,582	2,45	6,882	0,863	7,33-108,1
NONE	1-12-12-1	193	0,818	8,182	48,707	18,872	2,31	7,21	0,854	7,33-108,1
NONE	2-8-8-1	196	0,805	195,369	49,035	19,164	0,10	12,416	0,58	7,33-108,1

En la Figura 27 se presenta gráficamente la magnitud en que los datos predichos por la técnica NIRS se aproximan a los datos obtenidos por la técnica de determinación del contenido de carbohidratos solubles de laboratorio. Es posible observar que la gran mayoría de las muestras analizadas presentan un contenido de carbohidratos solubles que varía entre 20 y 70 g de glucosa /kg de

materia seca, siendo muy pocas las muestras que presentan un contenido inferior o mayor al rango mencionado.

El menor valor obtenido en laboratorio para carbohidratos solubles (considerando sólo las muestras presentes en el set de calibración) fue de 7,3 g/kg MS y el menor valor predicho por NIRS fue de 9,5 g/kg de MS. De la misma manera, el mayor valor obtenido en laboratorio fue de 108,1 y el mayor valor predicho por NIRS fue de 113,4 g/kg MS, existiendo a simple vista una tendencia a sobreestimar el contenido de CHO_S en la técnica NIRS.

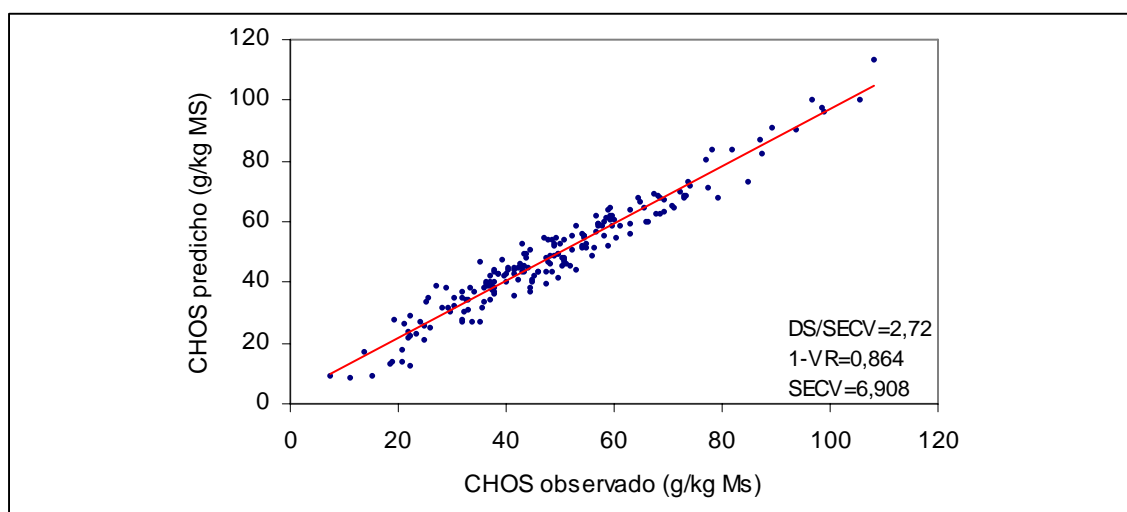


FIGURA 27 Relación entre carbohidratos solubles(g/kg MS) y su predicción por NIRS.

4.3.7 Materia seca. Se presentan en el Cuadro 18 los tratamientos matemáticos evaluados y las respectivas ecuaciones de calibración obtenidas, ordenadas de manera decreciente de acuerdo a su potencial de predicción (un mayor valor de DS/SECV indica un mayor potencial de predicción).

El tratamiento matemático que permitió obtener la mejor ecuación de calibración para materia seca fue 1-8-8-1 y SNV-D, contando el set de calibración con un total de 205 muestras.

Comparada con las mejores ecuaciones de calibración desarrolladas para cada nutriente, ésta es la que presenta el menor potencial de predicción, al ser el valor de DS/SECV el menor de todos (2,04).

Si bien la relación que se ha utilizado en este capítulo como la principal herramienta estadística o criterio de selección de ecuaciones (DS/SECV) no es la única que permite cumplir dicho objetivo, los otros indicadores estadísticos que caracterizan a la mejor ecuación de calibración también indican que se trata de una ecuación de calibración de limitado poder predictivo. Es así como el valor del Coeficiente de Determinación de Validación (1-VR) es de 0,758 y el valor del Error Estándar de Validación Cruzada (SECV) es de 2,317.

CUADRO 18 Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para materia seca.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	DS/SECV	SEC	R2	RANGO
SNV-D	1-8-8-1	205	0,758	2,317	17,299	4,738	2,04	1,808	0,854	9,21-29,82
SNV-D	2-8-8-1	207	0,755	2,322	17,261	4,703	2,03	1,612	0,882	9,21-29,82
SNV-D	1-5-5-1	209	0,744	2,369	17,31	4,707	1,99	1,847	0,846	9,21-29,82
SNV-D	2-12-12-1	208	0,74	2,389	17,273	4,687	1,96	1,789	0,854	9,21-29,82
SNV-D	1-12-12-1	208	0,745	2,453	17,285	4,708	1,92	1,906	0,836	9,21-29,82

En la Figura 28 se grafica la relación existente entre los datos obtenidos en laboratorio y los predichos por NIRS. Además, de estar distribuidos los datos a lo largo de toda la línea de tendencia y presentarse valores bastante extremos (valor menor de referencia y predicho = 9,2% y 10,6% respectivamente; valor mayor de referencia y predicho = 29,8% y 28,1% respectivamente), existe una distribución hacia arriba y abajo de la línea de igual respuesta de una gran cantidad de puntos, situación que indica que los valores predichos no son muy próximos a los valores reales o de referencia y consecuentemente el pobre valor de predicción de ésta ecuación de calibración.

En este mismo sentido es posible afirmar que esta ecuación de calibración posee un bajo poder de predicción ya que sólo un 75,8% (1-VR) de la variación de los valores predichos se explica por el TM junto al método CDL empleado.

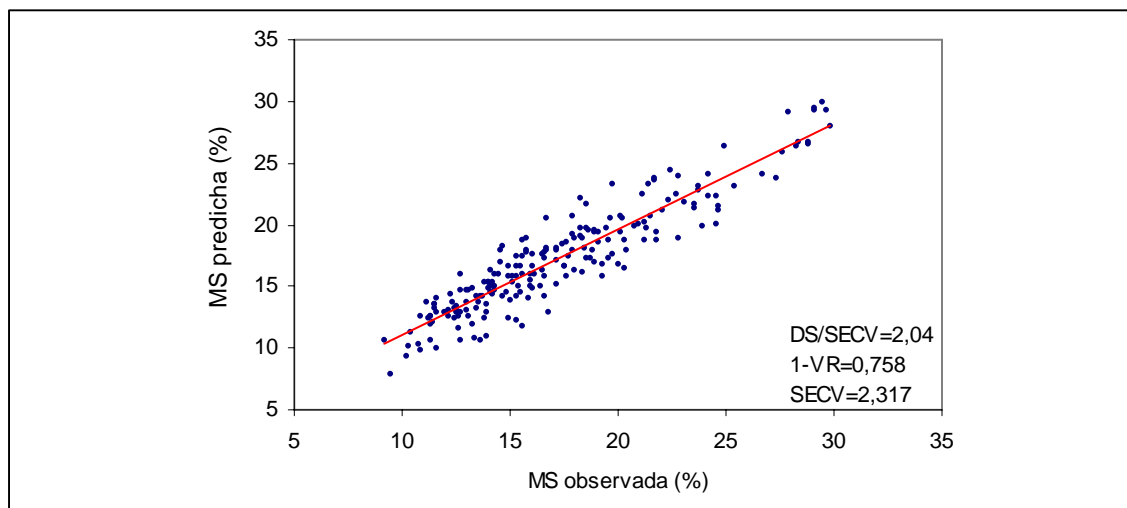


FIGURA 28 Relación entre materia seca (%) y su predicción por NIRS.

4.3.8 Cenizas totales. En el Cuadro 19 se presentan los indicadores estadísticos que caracterizan a las ecuaciones de calibración obtenidas para esta fracción a partir de los tratamientos matemáticos indicados.

Como se puede observar, el valor producto de la relación DS/SECV es de 2,05, muy por debajo del valor mínimo deseado de 3,0, indicando un bajo potencial de predicción de la mejor ecuación de calibración desarrollada. Esta fracción junto a materia seca representan las menos confiables al ser predichas por la técnica NIRS, al ser los valores de DS/SECV los más bajos de todas las fracciones evaluadas, de acuerdo al criterio propuesto por Kennedy *et al.*, (1995), citado por CUEVAS (2005).

CUADRO 19 Indicadores estadísticos de la eficiencia predictiva de ecuaciones de calibración desarrolladas para cenizas totales.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	DS/SECV	SEC	R ²	RANGO
SNV-D	2-5-5-1	203	0,775	0,589	9,375	1,207	2,05	0,413	0,883	7,09-13,68
SNV-D	2-12-12-1	206	0,701	0,678	9,366	1,221	1,80	0,498	0,833	7,09-13,68
SNV-D	2-8-8-1	206	0,707	0,686	9,341	1,183	1,72	0,51	0,814	7,09-13,68
NONE	0-0-12-1	211	0,571	0,813	9,408	1,249	1,54	0,717	0,67	7,09-13,68
NONE	0-0-5-1	209	0,529	0,853	9,39	1,243	1,46	0,729	0,656	7,09-13,68

El tratamiento matemático que permitió obtener la mejor ecuación de calibración para esta fracción fue 2-5-5-1 junto al método combinado de Corrección de Dispersión de Luz de SNV-D.

Tanto el coeficiente de determinación de calibración (R^2) como el coeficiente de determinación de predicción (1-VR) son bajos, 0,883 y 0,775 respectivamente, indicando ambos valores una baja proporción de la varianza de los valores predichos explicados por la mejor ecuación de calibración desarrollada.

Es importante mencionar que existe dificultad al predecir el contenido de cenizas de una muestra utilizando la técnica NIRS, ya que la absorción de energía NIRS por parte de los compuestos inorgánicos sólo se evidencia si estos se encuentran ligados a compuestos orgánicos.

Excepcionalmente Berardo (1997), citado por CUEVAS (2005), determinó mediante NIRS la fracción de CT alcanzando coeficientes de determinación para calibración de un 97% y validación cruzada de 92%, índices que contradicen la teoría de limitada eficiencia predictiva para fracciones minerales.

CUEVAS (2005), obtuvo la mejor ecuación de calibración para cenizas totales empleando un tratamiento matemático 2-5-5-1 y SNV-D. A pesar de ser el mismo tratamiento matemático el que permitió obtener la mejor ecuación de

calibración, el potencial de predicción de su ecuación es mayor al de la ecuación de calibración aquí presentada. El valor producto de la relación DS/SECV es de 2,5 para la ecuación de calibración desarrollada por CUEVAS (2005), además de presentar valores para R^2 , 1-VR, SEC y SECV de 0,958; 0,845; 0,354 y 0,694 respectivamente.

En la Figura 29 se presenta gráficamente la relación existente entre los valores obtenidos en laboratorio (calcincación en mufla a 600°C durante 2 horas) y los valores predichos por la técnica NIRS.

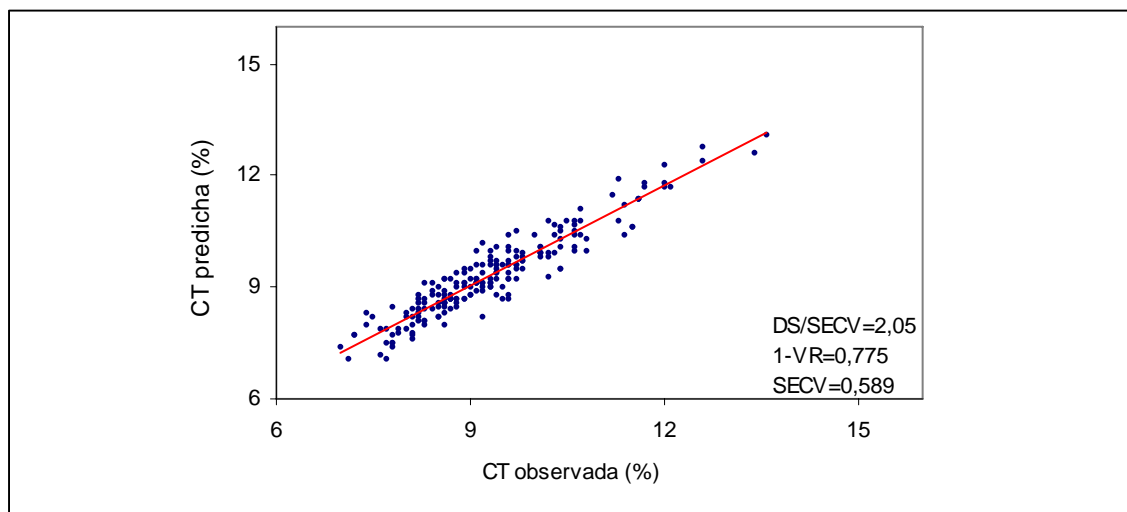


FIGURA 29 Relación entre cenizas totales (%) y su predicción por NIRS.

5 CONCLUSIONES

La tasa de crecimiento y composición nutricional de la pradera no son homogéneas en la Décima Región, no observándose ninguna gradiente norte-sur en términos de crecimiento ni composición.

El valor máximo de tasa de crecimiento de la pradera de Osorno fue mayor a los correspondientes a las praderas de Valdivia y Llanquihue, sin embargo, en esta localidad se registró el valor más bajo de tasa de crecimiento de la pradera entre las tres evaluadas.

El máximo crecimiento de la pradera en Osorno y Llanquihue se presentó antes que en Valdivia, mientras que los valores más bajos de tasa de crecimiento de la pradera en las tres localidades se presentaron en el mismo mes (marzo-2006).

La pradera ubicada en Osorno registró un crecimiento muy explosivo y a tasas crecientes desde fines de invierno hasta el peak de crecimiento en el mes de octubre, mientras que en Valdivia y Llanquihue las praderas registraron un crecimiento más moderado hasta la ocurrencia del peak.

La pradera ubicada en Osorno presentó un mayor crecimiento estival que las praderas ubicadas en Valdivia y Llanquihue, siendo el crecimiento de éstas últimas bastante similar durante el verano.

Durante el periodo de evaluación de las praderas el contenido de los principales nutrientes de interés (EM y PB) fue elevado, particularmente en el

caso de la energía metabolizable, que sin importar la localidad, en ningún momento fue inferior a 2,5 Mcal/kg MS.

Después de que el contenido de PB de las praderas evaluadas llegó a su máximo, fue disminuyendo con mayor rapidez que el de EM a medida que avanzó la estación de crecimiento.

Si bien los coeficientes e indicadores estadísticos que caracterizan a las ecuaciones de calibración NIRS aquí presentadas no son en general satisfactorios, representan bien la variabilidad de la composición nutricional de la pradera al estar compuesto el set de calibración por un elevado número de muestras.

Las ecuaciones de calibración NIRS, desarrolladas en este estudio, que presentan los mejores índices estadísticos y por ende los mejores potenciales de predicción son proteína bruta y fibra detergente ácido, y las de menor potencial predictivo corresponden a materia seca y cenizas totales.

6 RESUMEN

El presente estudio consistió en determinar la tasa de crecimiento de la pradera en tres zonas agroecológicas de la Décima Región y paralelamente definir la composición nutricional del forraje cosechado mediante análisis y determinaciones analíticas tradicionales y la técnica NIRS, con el objetivo de fortalecer un modelo de predicción NIRS ya existente. El periodo de evaluación se extendió desde septiembre del 2005 hasta marzo del 2006.

Las parcelas de exclusión evaluadas se encuentran ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue, y corresponden a praderas naturales de los distritos lecheros de los predios ubicados en las localidades indicadas.

Para evaluar el crecimiento y la composición nutricional de la pradera se efectuaron cortes periódicos de ésta, en base a un calendario de cortes confeccionado de acuerdo a un criterio de corte. Las muestras obtenidas a partir del total de forraje cosechado en cada corte, fueron enviadas al laboratorio de nutrición animal del Instituto de Producción Animal de la Universidad Austral de Chile para ser analizadas y determinar su composición en términos de MS, CT, PB, PS, EM, FDN, FDA y CHO_s, y simultáneamente recolectar los espectros NIRS de cada una de ellas.

El equipo que se utilizó para la predicción de la composición nutricional de las muestras obtenidas en los cortes fue el monocromador de barrido NIRSystem 6500 con módulo de rotación de muestras. La colección de los espectros, el manejo de datos espectrales y de referencia y el cálculo de

ecuaciones de calibración se realizó utilizando el software WinISI II de ISI (INFRAISOFT INTERNATIONAL, 1999).

El mayor valor de tasa de crecimiento de la pradera en Valdivia se registró en el mes de noviembre del año 2005 y el menor valor se registró en marzo del 2006, alcanzando valores de 52,1 y 13,8 Kg MS/há/día respectivamente.

La tasa de crecimiento de la pradera en Osorno y Llanquihue llegó a valores máximos de 59,8 (12-10-2005) y 42,7 (5 y 12-10-2005) kg MS/há/día y valores mínimos de 4,5 (6-3-2006) y 13,2 (6-3-2006) kg MS/há/día respectivamente.

En términos generales el contenido de energía metabolizable (EM Mcal kg/MS) de las muestras de forraje analizadas en ningún momento fue mayor a 3,13 y nunca fue inferior a 2,45.

El contenido máximo de proteína bruta (PB %MS) registrado en las praderas de Valdivia, Osorno y Llanquihue fue de 26,97, 30,57 y 31,23 respectivamente, mientras que los valores mas bajos registrados fueron de 15,14, 16,94 y 16,72 en el mismo orden.

Con respecto a las ecuaciones de calibración desarrolladas en este estudio, las que presentaron mejores indicadores estadísticos y por lo tanto un mayor potencial de predicción fueron las obtenidas para proteína bruta y fibra detergente ácido. Los indicadores estadísticos que caracterizan a las ecuaciones desarrolladas para PB y FDA son: DS/SECV= 7,65 y 3,92; $R^2=$ 0,992 y 0,96 y $1-VR=$ 0,983 y 0,935 respectivamente.

El total de las mejores ecuaciones de calibración desarrolladas se obtuvieron empleando el método de corrección por dispersión de luz de SNV-D y el 88% de las mejores ecuaciones se obtuvieron con derivadas de segundo orden.

SUMMARY

The present study consisted of determining the rate of growth of the sward in three agroecological zones of the Tenth Region of Chile and also to define the nutritional composition of the forage harvested by means of analysis and traditional analytical determinations and NIRS technique, with the objective to fortify an already existing prediction NIRS model. The period of evaluation extended from september 2005 to march 2006.

The evaluated exclusions are located in Valdivia, Osorno and Llanquihue, and correspond to natural swards of the milk districts of the farms located in the indicated localities.

In order to evaluate the growth and the nutritional composition of the sward periodic cuts of this were performed, on the basis of a calendar of cuts made according to a cut criterion. The samples obtained from the total forage harvested in each cut were sent to the animal nutrition laboratory of the Animal Production Institute of the Universidad Austral de Chile to be analyzed in order to determine their composition in terms of DM, TA, CP, SP, ME, NDF, ADF and SCHO, and simultaneously to collect the NIRS spectrum of each one of them.

The equipment used for the prediction of the nutritional composition of the samples resulting from the cuts was the NIRSystem monochromator model 6500 with samples rotation module. The collection of the spectra, the handling of spectral and reference data and the calibration equations calculation was carried out by using the software WinISI II (INFRASOFT INTERNATIONAL, 1999).

The greatest rate of growth value of the sward in Valdivia was registered on november the second of 2005 and the smallest value was registered on march the thirteenth of the 2006, being values of 52,1 and 13,8 k DM/ha/day respectively.

The rate of growth of the sward in Osorno and Llanquihue respectively achieved maximum values of 59,8 (12-10-2005) and 42,7 (5 y12-10-2005) k DM/ha/day and minimum values of 4,5 (6-3-2006) and 13,2 (6-3-2006) k DM/ha/day respectively.

The sward located in Osorno displayed noticeable a greater summer growth than the swards located in Valdivia and Llanquihue, being the growth of these two, during the summer, very similar.

In general terms the content of metabolizable energy (ME Mcal k /DM) of the analyzed forage samples at no moment was greater than 3,13 and was never below 2,45.

The maximum crude protein content (CP % DM) registered in the sward of Valdivia, Osorno and Llanquihue was 26,97, 30,57 and 31,23 respectively, whereas the lowest values registered were of 15,14, 16,94 and 16,72 in the same order.

Concerning the developed calibration equations in this study, those that resulted in the best statistical indicators and therefore the greatest prediction potential were obtained for crude protein and acid detergent fiber. The statistical indicators that characterize the developed equations for CP and ADF are: DS/SECV = 7,65 and 3,92; $R^2 = 0,992$ and $0,96$ and $1-VR = 0,983$ and $0,935$ respectively.

All of the best developed calibration equations were obtained using the method of light dispersion correction of SNV-D and 88% of the best equations were obtained with a second order derivative treatment.

7 BIBLIOGRAFÍA

ANASAC, s/f. Agrícola nacional S. A. C.. Catalogo forrajeras, serie ballicas. 50 p.

ALAMOS, A. 2004. Evaluación de la producción estacional de leche en la Décima Región Sur. Pontificia Universidad Católica de Chile. 36 p.

ALOMAR, D. y FUCHSLOCHER, R. 1998. Fundamentos de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) como método de análisis de forrajes. Agro Sur. Vol. 26, No. 1, pp: 88-104.

ANRIQUE, R.; VALDERRAMA, X. y FUCHSLOCHER, R. 1995. Composición de alimentos para el ganado de la zona sur. Fundación Fondo de Investigación Agropecuaria, Ministerio de Agricultura. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. 2ª ed. Valdivia, Chile. 56 p.

ANRIQUE, R.; LATRILLE, L.; BALOCCHI, O.; ALOMAR, D.; MOREIRA, V.; SMITH, R.; PINOCHET, D.; VARGAS, G. 1999. Competitividad de la producción lechera nacional. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 2 vol.. 437 p.

ANRIQUE, R. 2004. Nutrición animal II. Apuntes de clases.

AOAC (1996) Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th Ed., AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.

BALOCCHI, O. 2003. Seminario: Hagamos de la lechería un buen negocio. Universidad Austral de Chile. Instituto de Investigación Agropecuaria.

BALOCCHI, O. 2004. Manejo de praderas. Apuntes de clases.

BOHLE, J. y VERA, R. 1977. Determinación de la tasa de crecimiento y otros parámetros productivos de una pradera permanente en producción de leche. Tesis Ing. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias.

BRAVO, J. 2006. Caracterización nutricional de forrajes verdes, forrajes secos, concentrados y subproductos agroindustriales para la alimentación del ganado en la zona sur. Tesis Ing. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, facultad de ciencias agrarias. 160 p.

CUEVAS, E. 1980. Manejo y utilización de praderas. Instituto de producción animal, Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 141 p.

CUEVAS, J. 2005. Calibración de espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para la medición de la composición química de praderas (muestras secas) en la Décima Región. Tesis Ing. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 86 p.

ESNAOLA, M. 2004. Potenciales para praderas del sur de Chile (On line). <<http://www.tattersall.cl/revista/Rev188/potenciales.htm>>(12 oct. 2005).

FLORES, M. 1998. Efectos del periodo de rezago en la composición química y la degradabilidad ruminal en cinco gramíneas forrajeras y su predicción

por Espectroscopia en el Infrarrojo cercano. Tesis Magíster en Ciencias, mención Producción Animal. Universidad Austral de Chile. 203 p.

GARRIDO, O.F. y MANN, E.A. (1981) Composición Química, Digestibilidad y Valor Energético de una Pradera Permanente de Pastoreo a Través del Año. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Chile.

GOERING, H.K. y VAN SOEST, P.J. (1970). Forage Fiber Analysis. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 379, 20 p.

HOPKINS, A. 2000. Grass its production and utilization. British grassland society. Blackwell scientific publications. 3ª ed. 440 p.

INFRAISOFT INTERNATIONAL. 1992. NIRS 3.0: Routine operation, Calibration and network System Management Software for Near Infrared Instruments. ISI. Estados Unidos, Silver Spring. 328 p.

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES – CORPORACIÓN DE FOMENTO, IREN – CORFO. 1964. Descripción del proyecto aerofotogramétrico. CHILE/O.E.A./B.I.D.

IREN – CORFO – UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE. 1978. Estudio de suelos de la provincia de Valdivia.

KENNEDY, C.; SHELFORD, J. y WILLIAMS, P. 1995. Near infrared spectroscopy analysis of intact grass silage and fresh grass for dry matter, crude protein and acid detergent fiber. **In:** Davies, A. y Williams, P. (eds). Near Infrared Spectroscopy: The future Waves. VII International

Conference on Near Infrared Spectroscopy. Montreal, Canada. pp: 524-530.

LATRILLE, L. 1996. Nuevos conceptos en la alimentación de vacas lecheras. **In:** Producción Animal. Valdivia, Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Serie B-20. pp 1-21.

MARCHANT, C. 2000. Valor predictivo para la composición nutritiva de ensilajes de pradera de una ecuación NIRS desarrollada en los años 1995 y 1996. Tesis Ing. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias.

MCBEATH, P. 2002. Praderas, un recurso alimentario sustentable de bajo costo. Seminario internacional: Producción de leche en base a praderas. 24p.

MONTERO, R. 1998. Uso de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para predecir la composición nutricional del ensilaje de pradera fresca. Tesis Ing. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias.

MOORBY, M. 2001. Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): milk production from late lactation dairy cows. Grass and forage science (United Kingdom) 56: 383 – 394p.

MURTAGH, K. 2000. Factibilidad de predicción de composición nutricional de forrajes de distintas especies mediante una ecuación NIRS desarrollada

para ensilajes. Tesis Ing. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias.

PARGA, J. 2003. Utilización de praderas y nutrición de vacas a pastoreo. **In:** Seminario Hagamos de la Lechería un Mejor Negocio. pp: 21-32.

RUIZ, I. 1996. Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 2ª ed. 734 p.

SANDLESS, L. 2002. Eficiencia del uso de praderas: Un importante factor crítico de éxito. Seminario internacional: Producción de leche en base a praderas. 16p.

SCHNEEBERGER, X. 1999. Determinación del contenido de materia seca en ensilajes de pradera y fecas de bovinos por distintos métodos analíticos, para la calibración de un equipo NIRS. Tesis Ing. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias.

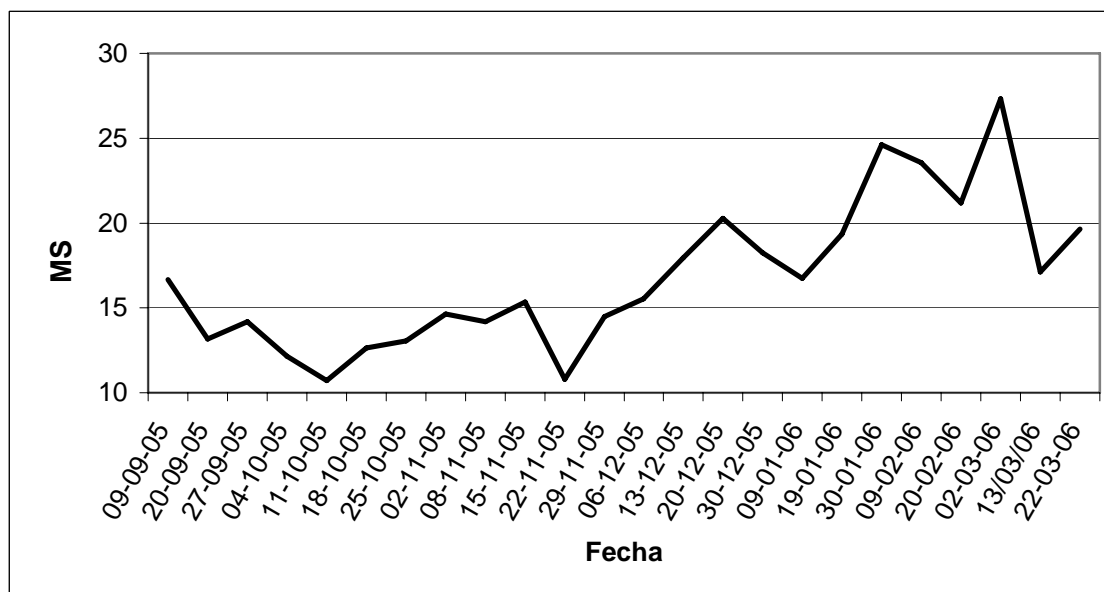
SHENK, J. 1981. Description and evaluation of near infrared reflectance spectra computer for forage and grain analysis. *Crop Sci.* 3:355-358p.

UNITED KINGDOM. INSTITUTE OF GRASSLAND AND ENVIRONMENTAL RESEARCH (IGER) (On line). 2005. <<http://www.iger.bbsrc.ac.uk>> (5 nov. 2005).

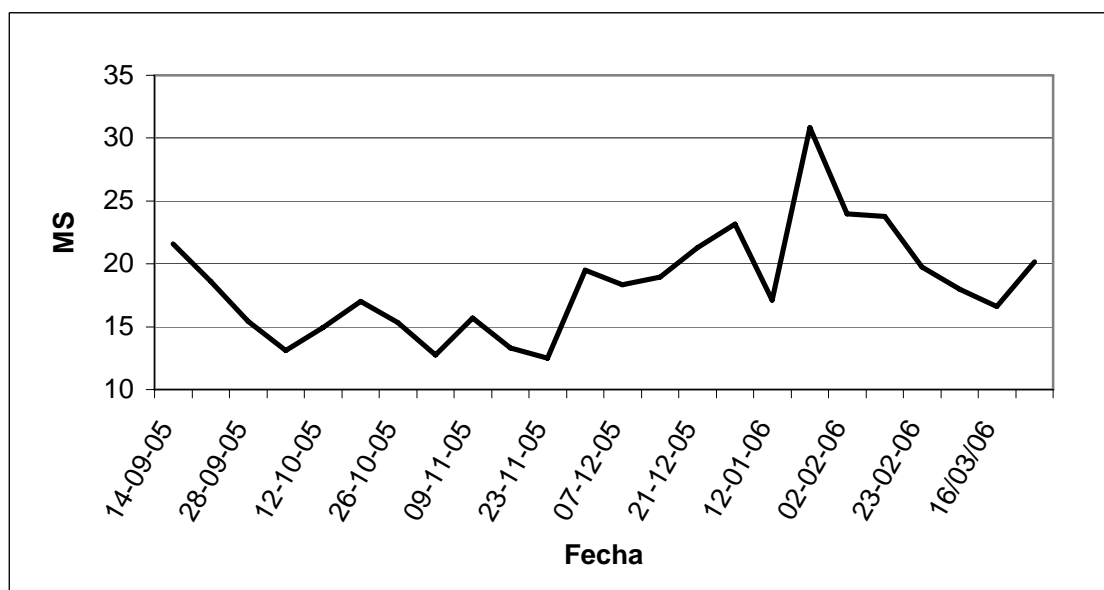
VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B. y LEWIS, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.

ANEXOS

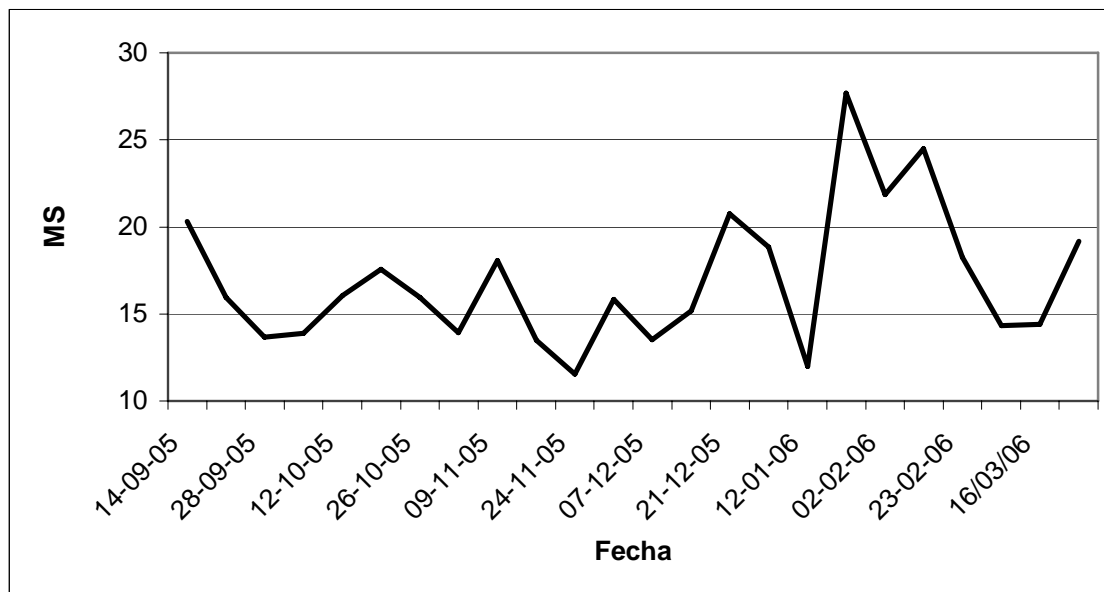
ANEXO 1 Evolución del contenido de materia seca (%) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región.



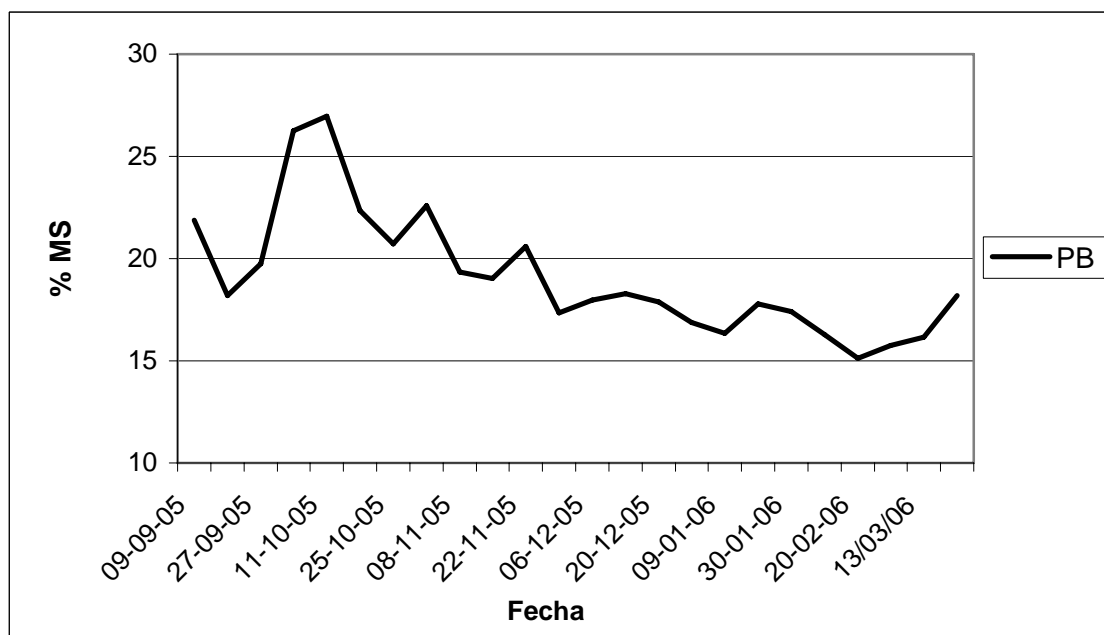
ANEXO 2 Evolución del contenido de materia seca (%) de la pradera ubicada en Osorno, X Región.



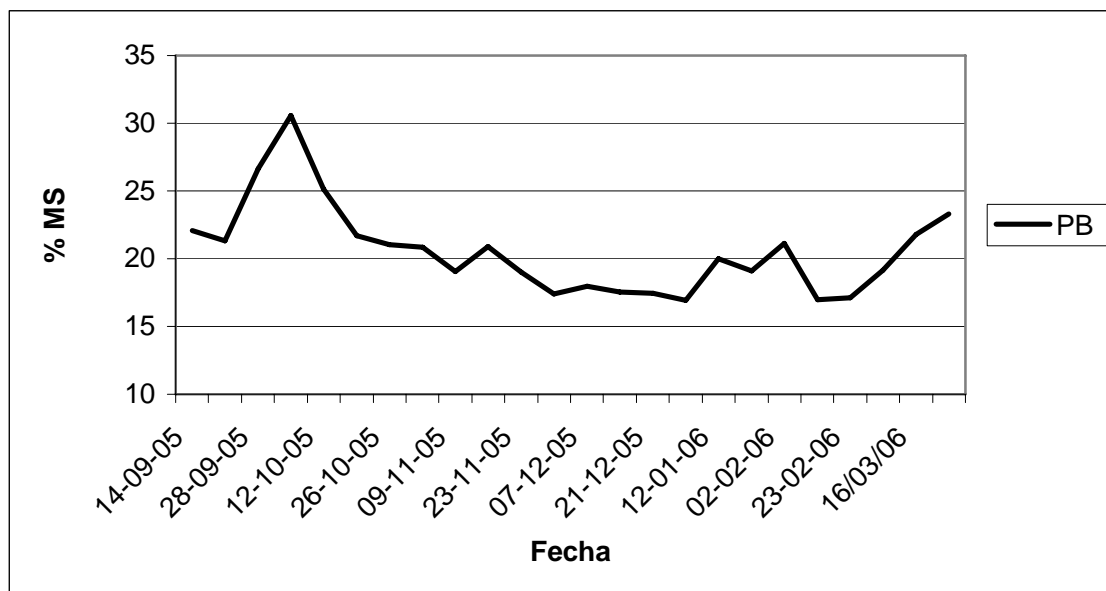
ANEXO 3 Evolución del contenido de materia seca (%) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región.



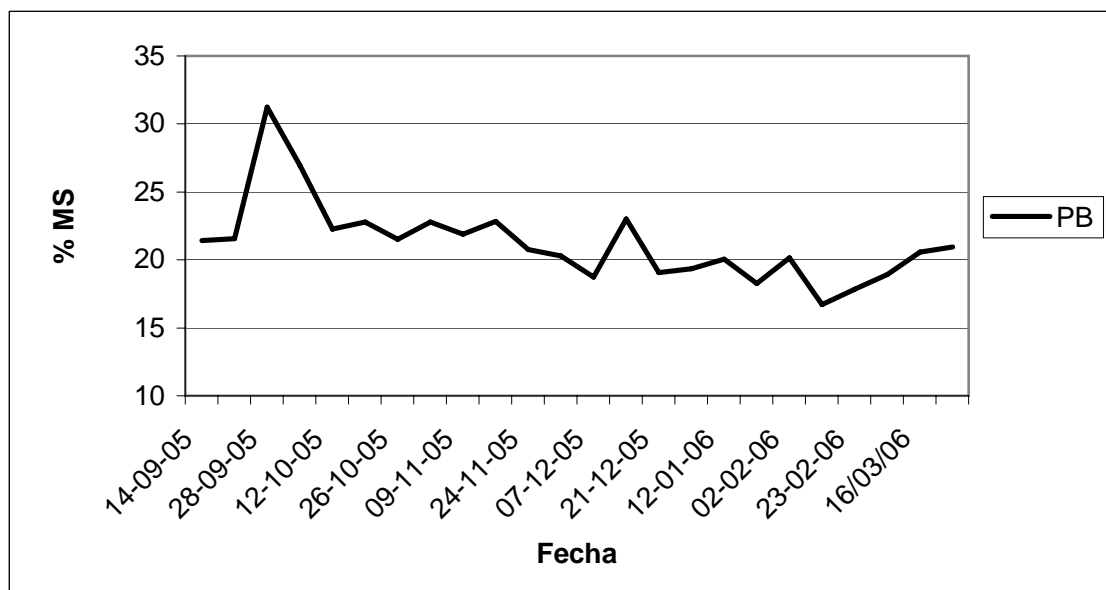
ANEXO 4 Evolución del contenido de proteína bruta (%) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región.



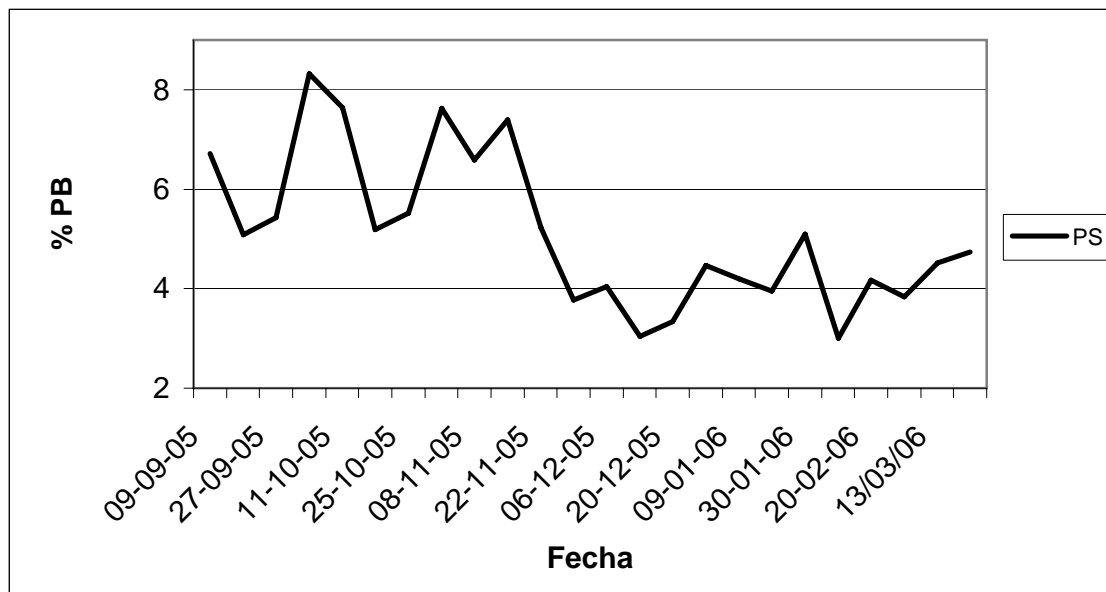
ANEXO 5 Evolución del contenido de proteína bruta (%) de la pradera ubicada en Osorno, X Región.



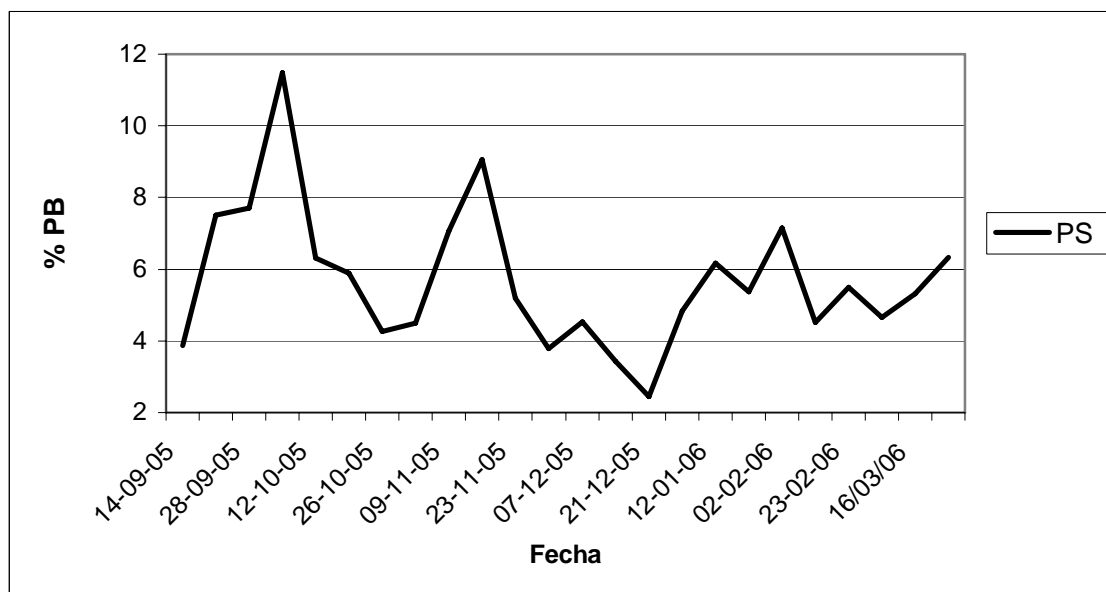
ANEXO 6 Evolución del contenido de proteína bruta (%) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región.



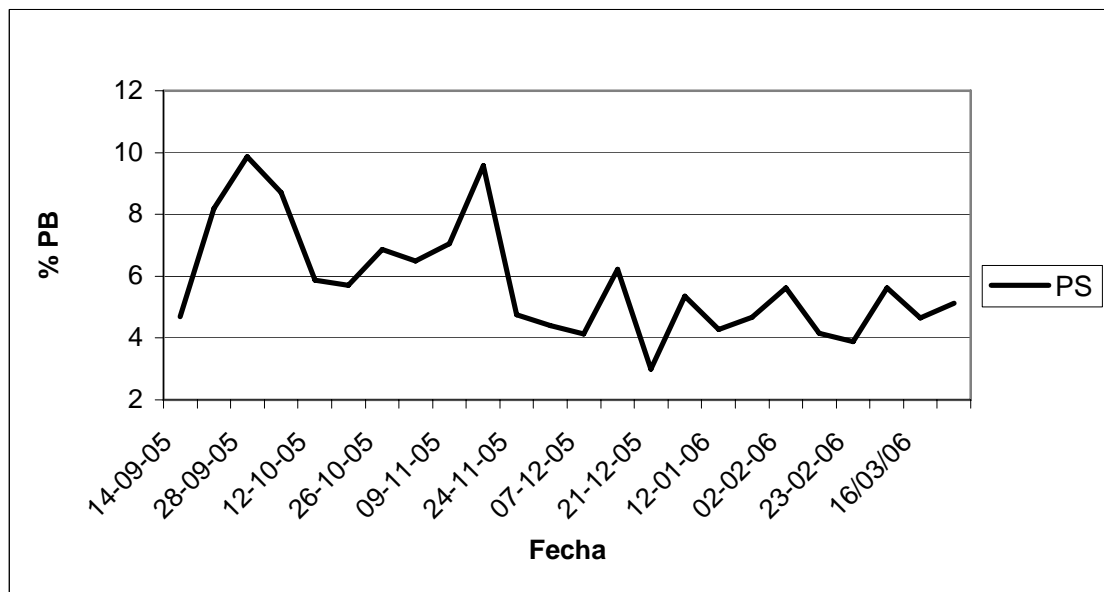
ANEXO 7 Evolución del contenido de proteína soluble (% PB) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región.



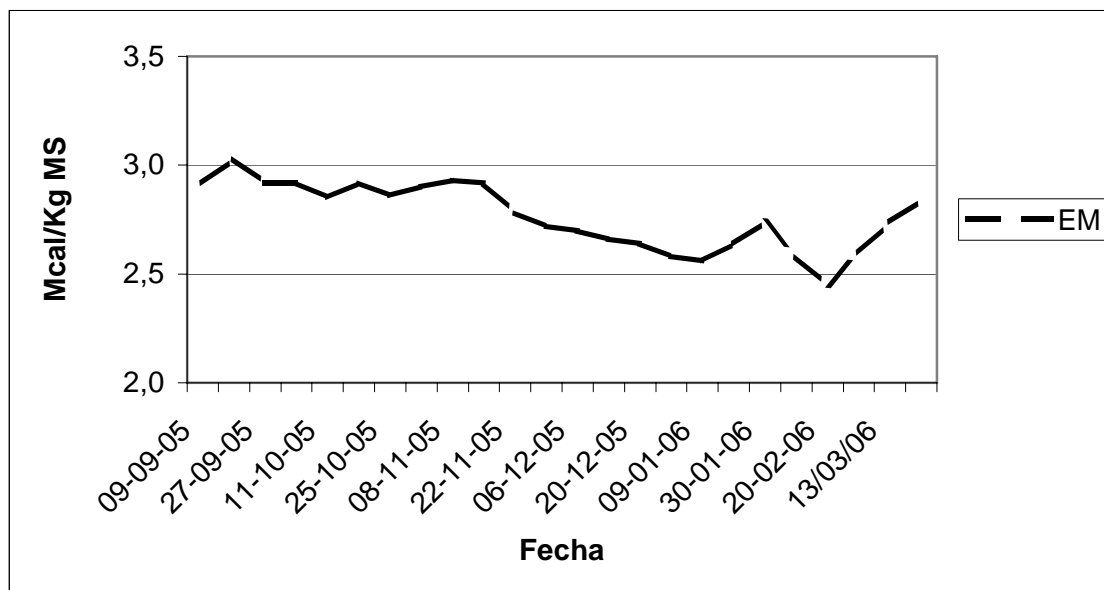
ANEXO 8 Evolución del contenido de proteína soluble (% PB) de la pradera ubicada en Osorno, X Región.



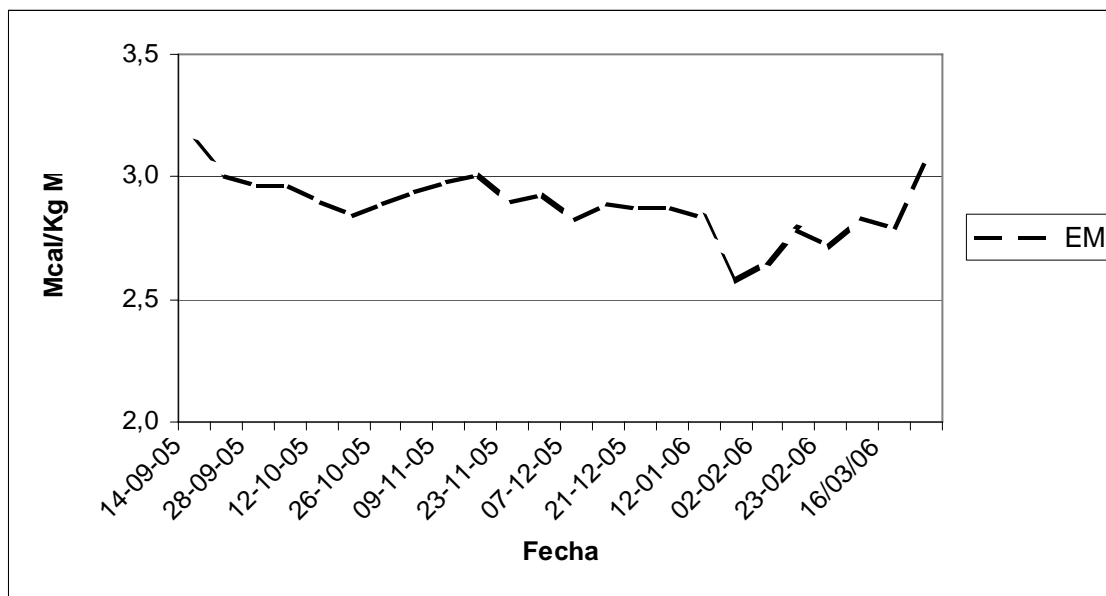
ANEXO 9 Evolución del contenido de proteína soluble (% PB) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región.



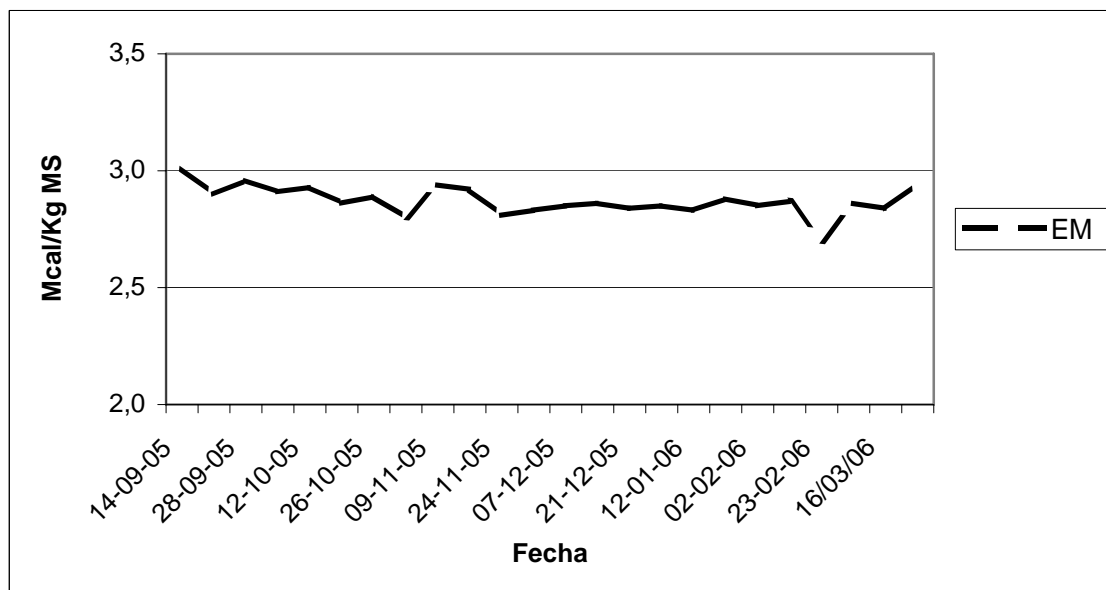
ANEXO 10 Evolución del contenido de energía metabolizable (Mcal/kg MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región.



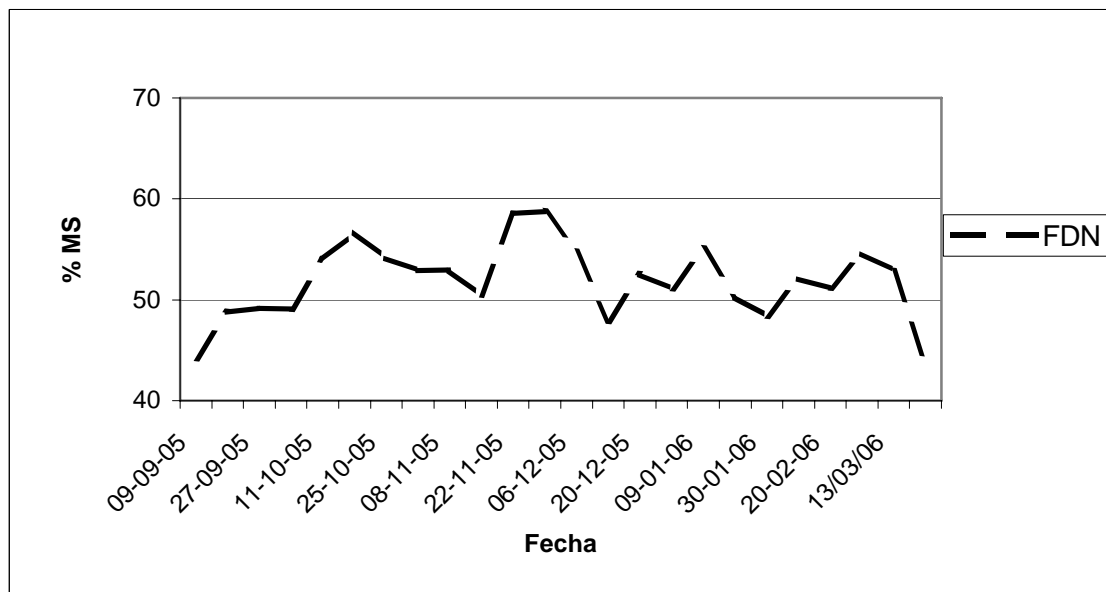
ANEXO 11 Evolución del contenido de energía metabolizable (Mcal/kg MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región.



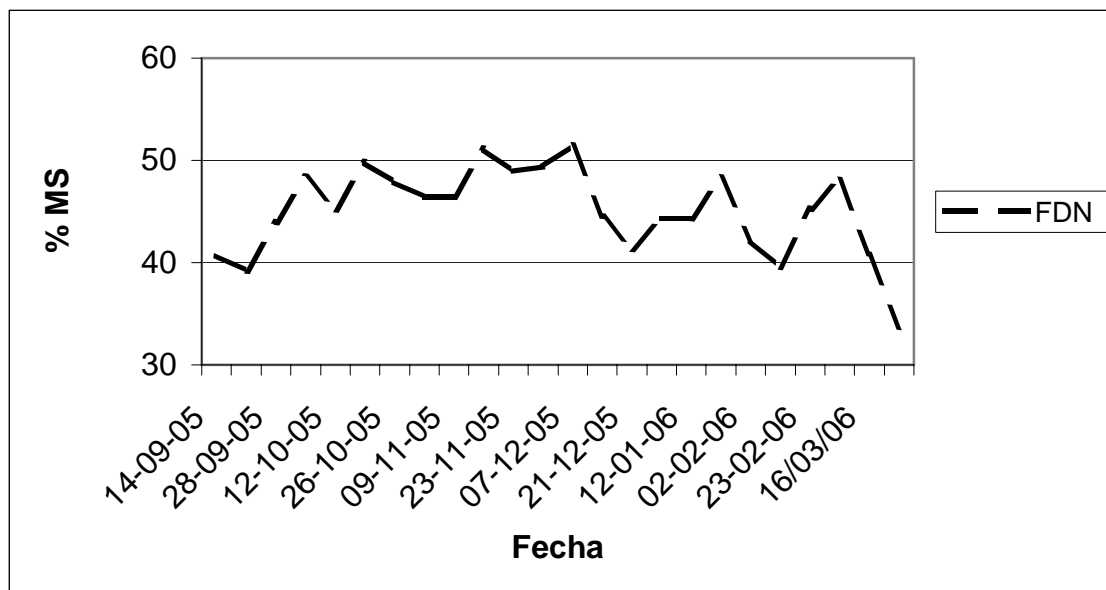
ANEXO 12 Evolución del contenido de energía metabolizable (Mcal/kg MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región.



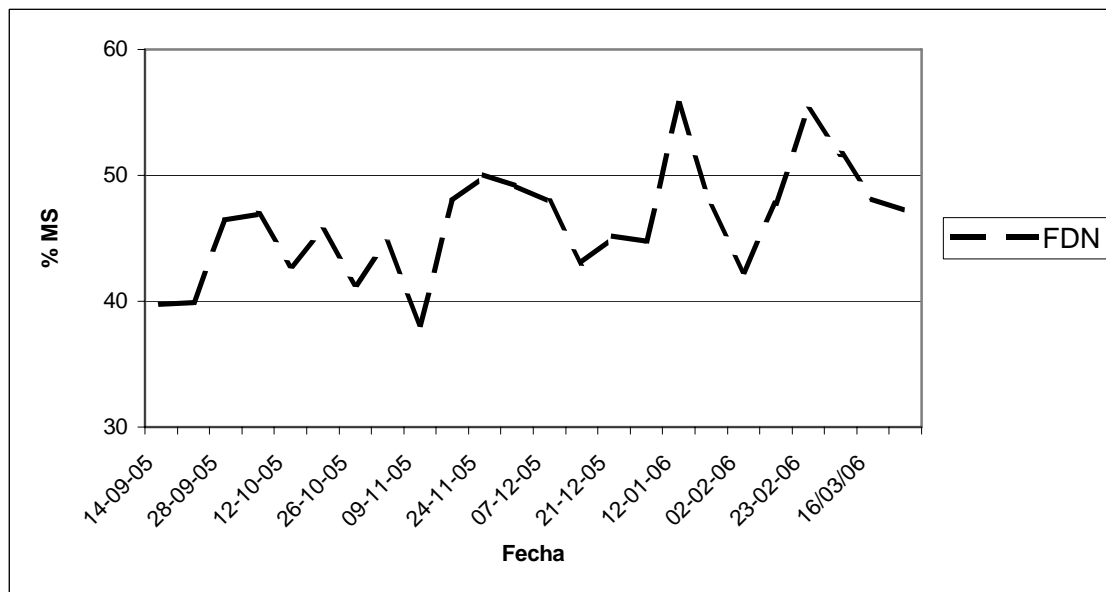
ANEXO 13 Evolución del contenido de fibra detergente neutro (% MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región.



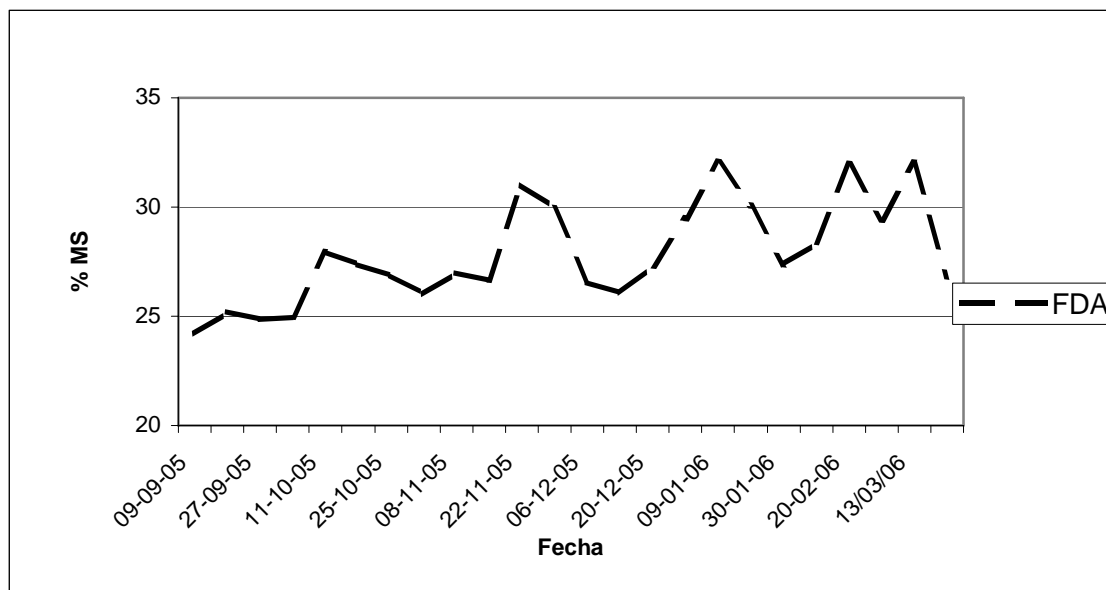
ANEXO 14 Evolución del contenido de fibra detergente neutro (% MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región.



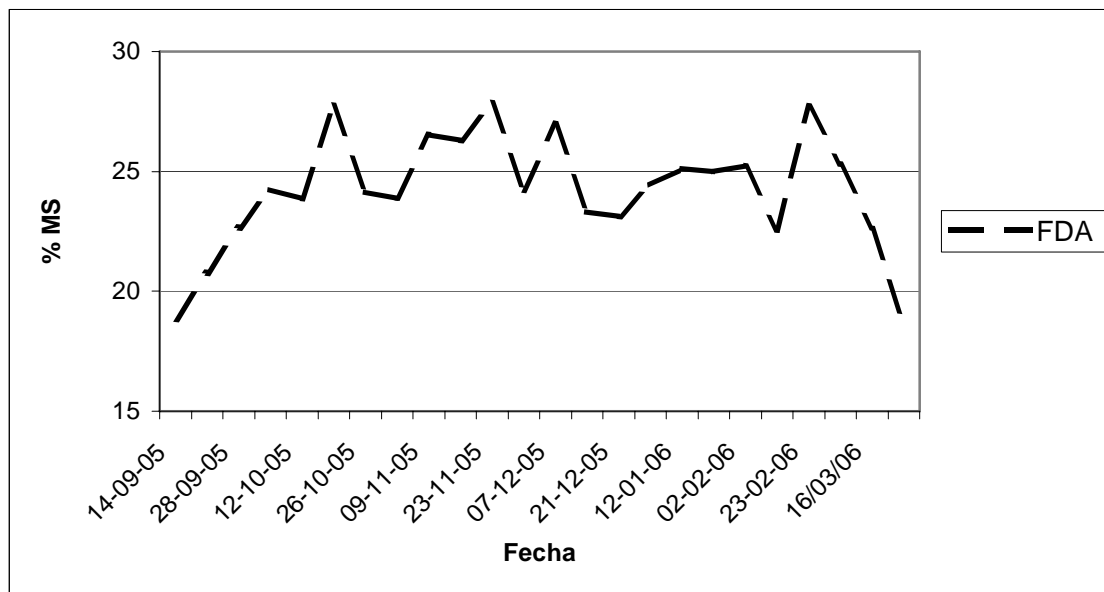
ANEXO 15 Evolución del contenido de fibra detergente neutro (% MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región.



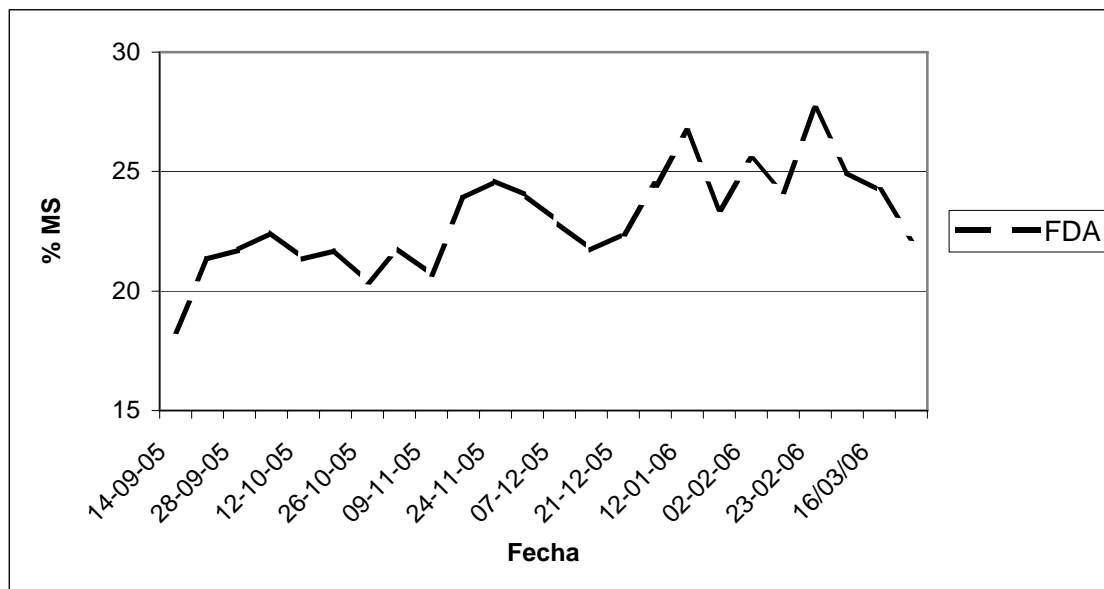
ANEXO 16 Evolución del contenido de fibra detergente ácido (% MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región.



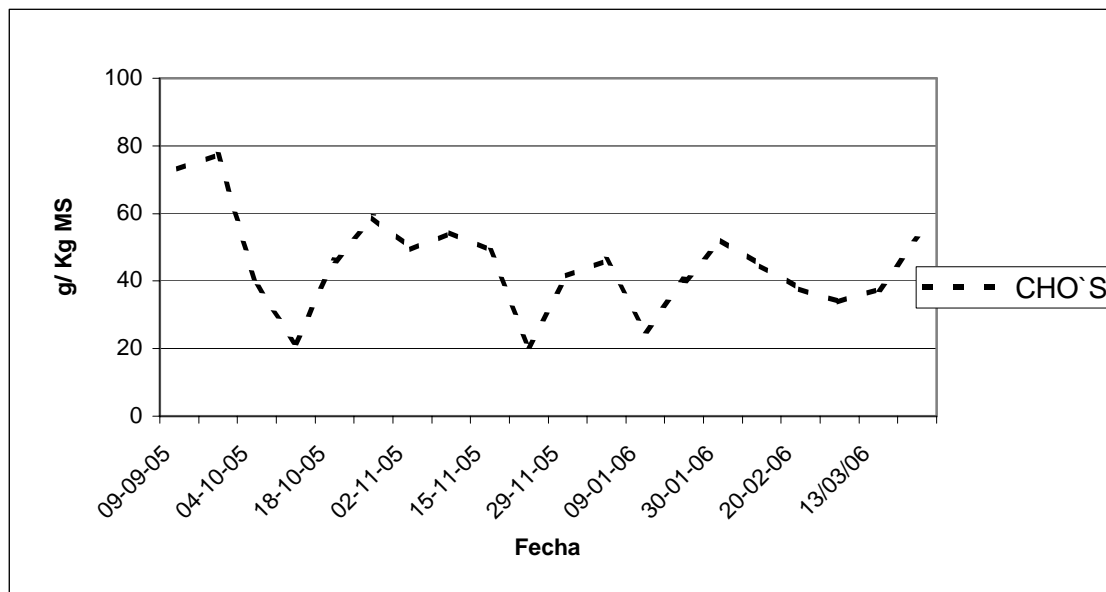
ANEXO 17 Evolución del contenido de fibra detergente ácido (% MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región.



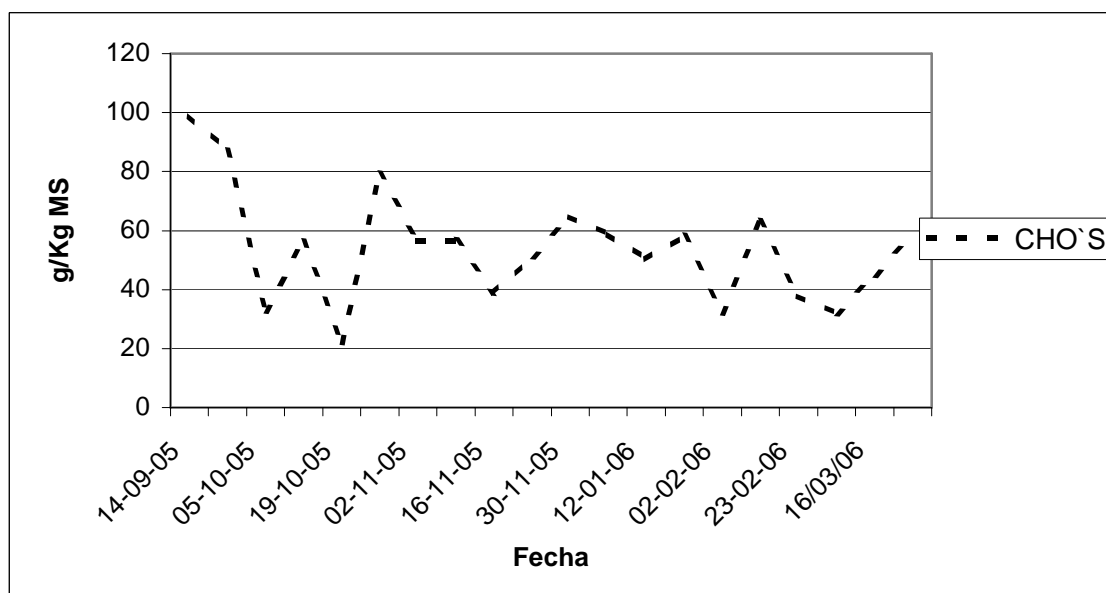
ANEXO 18 Evolución del contenido de fibra detergente ácido (% MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región.



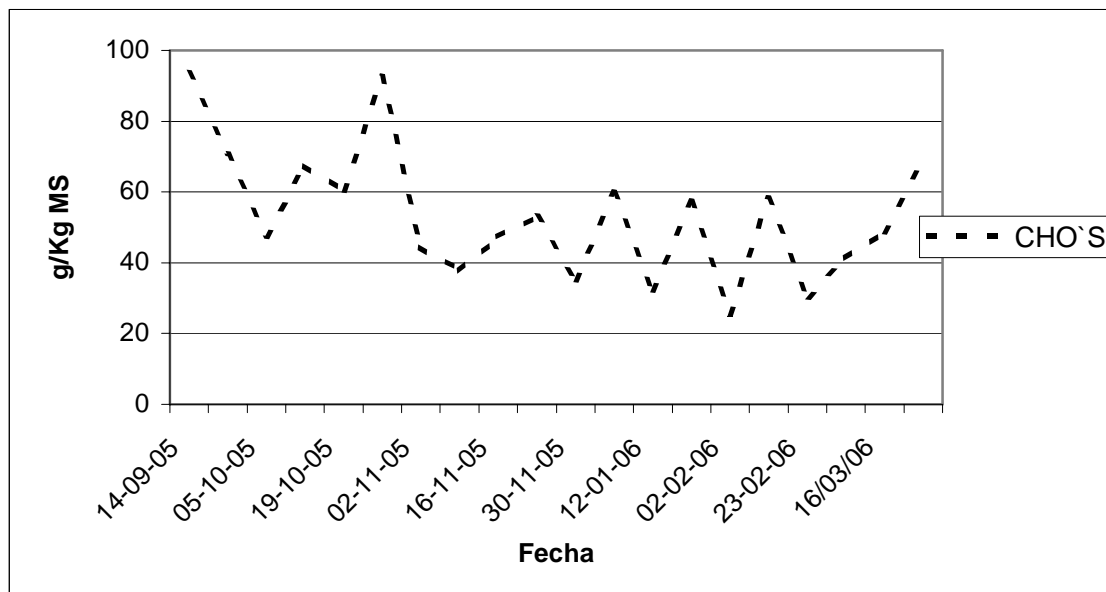
ANEXO 19 Evolución del contenido de carbohidratos solubles (g/kg MS) de la pradera ubicada en Valdivia, X Región.



ANEXO 20 Evolución del contenido de carbohidratos solubles (g/kg MS) de la pradera ubicada en Osorno, X Región.



ANEXO 21 Evolución del contenido de carbohidratos solubles (g/kg MS) de la pradera ubicada en Llanquihue, X Región.



ANEXO 22 Coeficientes de correlación entre distintos nutrientes.

	MS	PB	PS	EM	FDN	FDA	CHO _s
MS	1	-0,48	-0,38	-0,37	-0,29	-0,05	0,15
PB	-0,48	1	0,76	0,53	-0,24	-0,47	0,03
PS	-0,38	0,76	1	0,45	-0,22	-0,27	-0,03
EM	-0,37	0,53	0,45	1	-0,43	-0,67	0,51
FDN	-0,29	-0,24	-0,22	-0,43	1	0,79	-0,52
FDA	-0,05	-0,47	-0,27	-0,67	0,79	1	-0,66
CHO _s	0,15	0,03	-0,03	0,51	-0,52	-0,66	1

ANEXO 23 Información meteorológica representativa para cada exclusión en el periodo septiembre 2005-marzo 2006.

Caracterización climática de la exclusión de Valdivia, 2005.

MES	pp (mm)	Evaporación (mm)	Temperaturas	
			Media Máxima	Media Mínima
SEPTIEMBRE	148,6	33,1	16,6	4,7
OCTUBRE	61,7	56,2	16,7	6,7
NOVIEMBRE	277,5	72,3	19,0	9,2
DICIEMBRE	46	127	22,7	10,6
PROMEDIO	133,5	72,2	18,7	7,8
SUMA	533,8	288,6		

FUENTE: ESTACION METEOROLOGICA, INSTITUTO DE GEOCIENCIAS, UACH (2006)

Caracterización climática de la exclusión de Valdivia, 2006.

MES	pp (mm)	Evaporación (mm)	Temperaturas	
			Media Máxima	Media Mínima
ENERO	185,6	121,8	23,6	10,8
FEBRERO	28,3	108,3	25,1	12,0
MARZO	102,1	78,8	19,7	9,5
PROMEDIO	105,3	103,0	22,8	10,7
SUMA	316	308,9		

FUENTE: ESTACION METEOROLÓGICA, INSTITUTO DE GEOCIENCIAS, UACH (2006)

(Continúa)

Continuación Anexo 23.

Caracterización climática de la exclusión de Osorno, 2005.

MES	pp (mm)	Evaporación (mm)	Temperaturas	
			Media Máxima	Media Mínima
SEPTIEMBRE	56,7	51,7	17,6	0,7
OCTUBRE	26,8	83,4	18,5	2,7
NOVIEMBRE	85,1	104,9	20,8	5,4
DICIEMBRE	30,7	162,3	23,9	5,7
PROMEDIO	49,8	100,6	20,2	3,6
SUMA	199,3	402,3		

FUENTE: INIA REMEHUE (2006)

Caracterización climática de la exclusión de Osorno, 2006.

MES	pp (mm)	Evaporación (mm)	Temperaturas	
			Media Máxima	Media Mínima
ENERO	89,2	154,8	24,1	6
FEBRERO	22,7	152,5	27	7,7
MARZO	58,8	72,8	20,9	4,6
PROMEDIO	56,9	126,7	24,0	6,1
SUMA	170,7	380,1		

FUENTE: INIA REMEHUE (2006)

(Continúa)

Continuación Anexo 23.

Caracterización climática de la exclusión de Llanquihue, 2005.

MES	pp (mm)	Evaporación (mm)	Temperaturas	
			Media Máxima	Media Mínima
SEPTIEMBRE	71,4	28,3	13,1	3,6
OCTUBRE	44,8	43,3	14,1	5,4
NOVIEMBRE	170,7	60,4	16,9	7,3
DICIEMBRE	51,8	105,7	18,9	8,0
PROMEDIO	84,7	59,4	15,8	6,1
SUMA	338,7	237,7		

FUENTE: DIRECCIÓN GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL, ESTACION PUERTO MONTT - EL TEPUAL (2006)

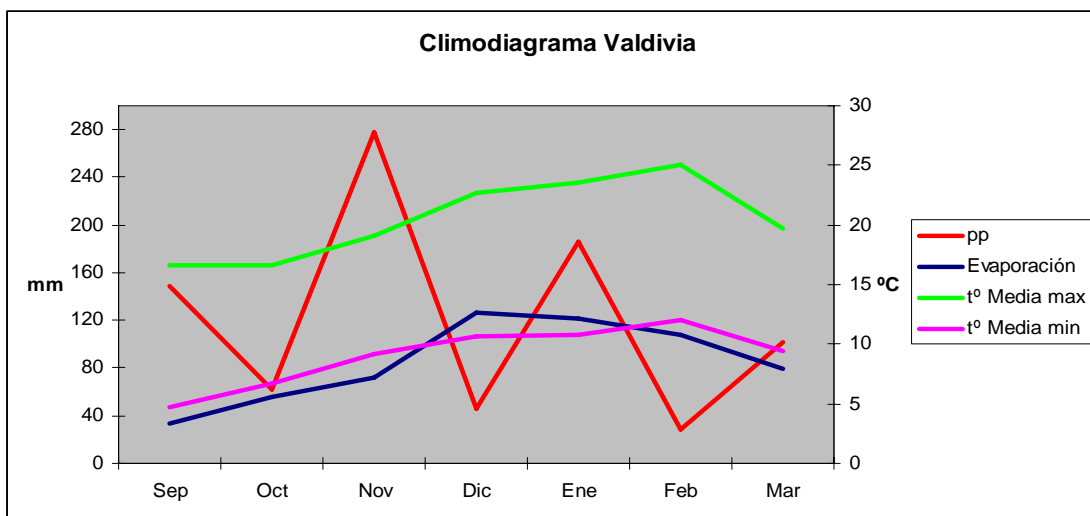
Caracterización climática de la exclusión de Llanquihue, 2006.

MES	pp (mm)	Evaporación (mm)	Temperaturas	
			Media Máxima	Media Mínima
ENERO	137,6	6,5	19,8	9,0
FEBRERO	70,7	102	20,7	10,1
MARZO	149	41,6	16,9	7,7
PROMEDIO	119,1	50,0	19,1	8,9
SUMA	357,3	150,1		

FUENTE: DIRECCIÓN GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL, ESTACION PUERTO MONTT – EL TEPUAL (2006) (Continúa)

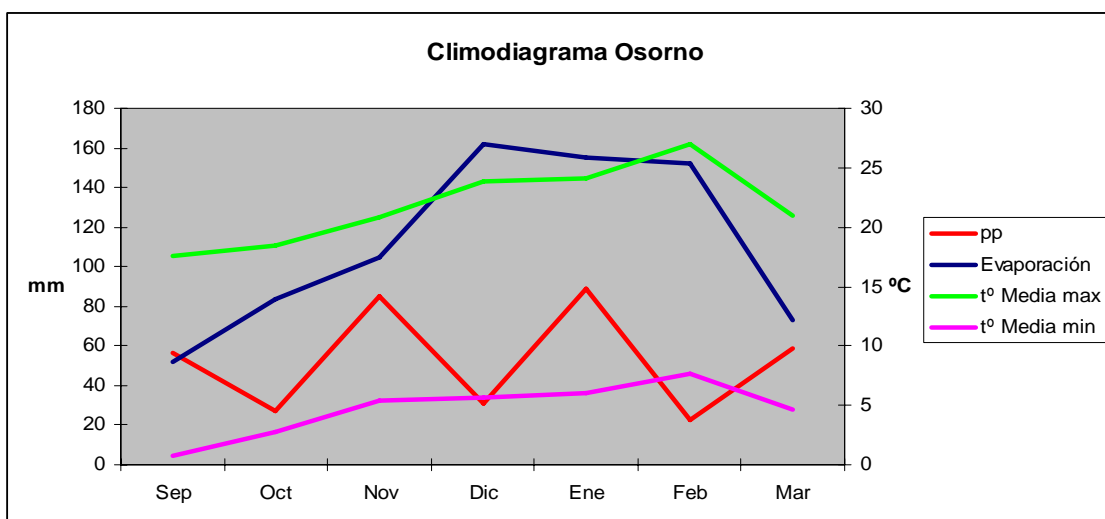
Continuación Anexo 23.

Caracterización climática de la exclusión de Valdivia.



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Instituto de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, 2006.

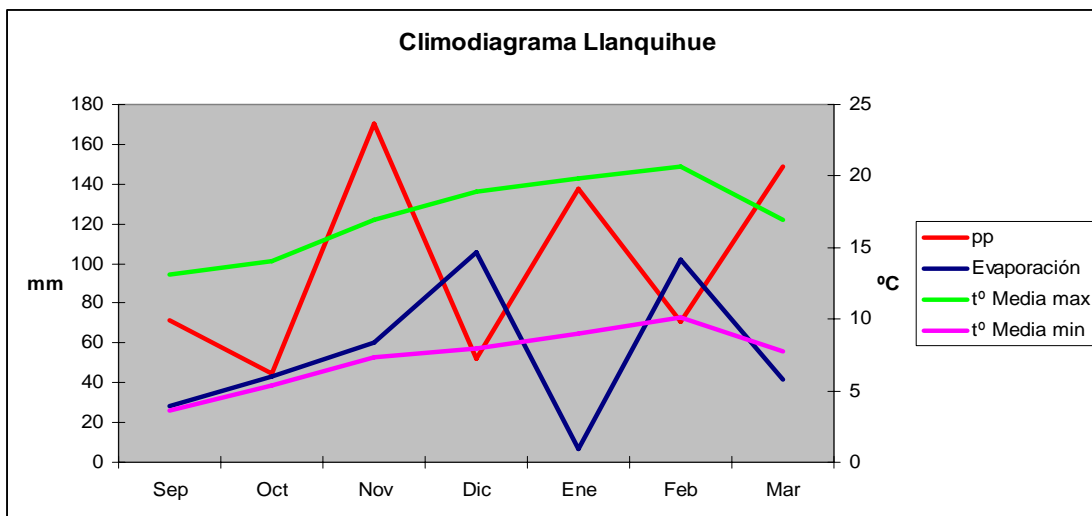
Caracterización climática de la exclusión de Osorno.



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por INIA Reméhue, 2006. (Continúa)

Continuación Anexo 23.

Caracterización climática de la exclusión de Llanquihue.



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la estación meteorológica Puerto Montt - El Tepual, DGA, 2006.

ANEXO 24 Tasas de crecimiento promedio mensual de las praderas ubicadas en Valdivia, Osorno y Llanquihue.

Tasas de crecimiento promedio mensual de la pradera ubicada en Valdivia (septiembre 2005-marzo 2006).

MES	TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO kg MS/ha/día
SEPTIEMBRE	25,9
OCTUBRE	38,3
NOVIEMBRE	30,7
DICIEMBRE	19,4
ENERO	34,8
FEBRERO	24,4
MARZO	15,4

Tasas de crecimiento promedio mensual de la pradera ubicada en Osorno (septiembre 2005-marzo 2006).

MES	TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO kg MS/ha/día
SEPTIEMBRE	23,5
OCTUBRE	49,2
NOVIEMBRE	43,9
DICIEMBRE	39,8
ENERO	31,9
FEBRERO	14,9
MARZO	8,8

(Continúa)

Continuación Anexo 24.

Tasas de crecimiento promedio mensual de la pradera ubicada en Llanquihue (septiembre 2005-marzo 2006).

MES	TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO kg MS/ha/día
SEPTIEMBRE	26,1
OCTUBRE	37,9
NOVIEMBRE	21,7
DICIEMBRE	19,6
ENERO	26,1
FEBRERO	26,9
MARZO	18,2