



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTO DE LA VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE
NUTRIENTES DE UNA PRADERA MESOFÍTICA DE LA REGIÓN DE
LOS LAGOS DURANTE EL PERIODO DE LACTANCIA, SOBRE
VARIABLES RUMINALES, PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE
LECHE**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y Grado de
Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Animal.

EMILIA XIMENA SOTO IDE

DIRECTORES DE TESIS

Héctor Manterola B.
Humberto González V.

PROFESORES CONSEJEROS

Giorgio Castellaro G.
Héctor Uribe M.

SANTIAGO - CHILE
2012

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO**

**EFEECTO DE LA VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES DE
UNA PRADERA MESOFÍTICA DE LA REGIÓN DE LOS LAGOS DURANTE EL
PERIODO DE LACTANCIA, SOBRE VARIABLES RUMINALES, PRODUCCIÓN
Y COMPOSICIÓN DE LECHE**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO Y GRADO DE
MAGÍSTER EN CIENCIAS AGROPECUARIAS MENCIÓN PRODUCCIÓN ANIMAL.

Emilia Ximena Soto Ide

	Calificaciones * (Memoria de Título)	Calificaciones * * (Tesis de Grado)
Directores de Tesis		
Héctor Manterola B. Ing. Agr., M.S.	7.0	Aprobada
Humberto Gonzalez V. Ing. Agro., Mg. Sci.	7.0	Aprobada
Profesores Evaluadores/Consejeros		
Giorgio Castellaro G. Ing. Agro., Mg. Sci.	6.9	Aprobada
Héctor Uribe M. Med. Vet., Ph D.	6.0	Aprobada

Santiago, Chile
2012

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis papás, Chimbo y Rosi, por regalarme una prestigiosa educación y la posibilidad de vivir todo este tiempo en Santiago, además de su confianza y su amor infinito e incondicional. A mis hermanos, Elisa y Martín, por siempre hacerme sentir que hacía falta en nuestra casa, y enviarme su apoyo y amor en los momentos difíciles.

También quiero agradecer a todos los amigos que me acompañaron durante estos años, con los cuales compartí penas y alegrías, pero siempre me entregaron su cariño y apoyo. Especialmente, quiero agradecer a Nani, Caro, Luchi, Pauli y Mati por su incondicionalidad, y por abrirme las puertas de sus casas y sus familias para que yo también las hiciera mías.

Finalmente, pero en forma muy especial y encarecida, quiero agradecer a mis profesores Héctor M. y Humberto G. por toda la ayuda y orientación que me brindaron durante este proceso, pero sobre todo por enseñarme aspectos tan distintos y a la vez tan complementarios de la carrera, la profesión y la vida.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT.....	3
3. ABREVIATURAS.....	4
4. INTRODUCCIÓN	5
4.1 Cambios estacionales de la pradera	6
4.1.1 Crecimiento de la pradera	6
4.1.2 Valor nutritivo de la pradera	8
4.1.2.1 Contenido de energía metabolizable (EM) de la pradera.....	9
4.1.2.2 Contenido de proteína bruta (PB) de la pradera.....	10
4.1.2.3 Contenido de fibra detergente neutro (FDN) de la pradera	10
4.1.2.4 Digestibilidad de la pradera	11
4.2 Variables ruminales de animales en sistemas pastoriles	12
4.3 Producción de leche en sistemas pastoriles.....	13
4.3.1 Curva de lactancia.....	14
4.3.2 Composición de la leche	15
4.4. Hipótesis	17
4.5 Objetivos	17
5. MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1 Materiales.....	18
5.2 Mediciones realizadas	19
5.2.1 Técnicas Experimentales.....	19
5.2.1.1 Variables nutricionales de la pradera.....	19
5.2.1.2 Variables ruminales	21

5.2.1.3 Variables productivas	21
5.3 Diseño experimental y análisis estadístico.....	24
5.3.1 Análisis de correlación.....	24
5.3.2 Análisis de regresión.....	25
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
6.1 Variables nutricionales de la pradera	26
6.1.1 Concentración de nutrientes en la pradera mesofítica.....	26
6.1.1.1 Proteína bruta.....	26
6.1.1.2 Fibra detergente neutro	27
6.1.1.3 Energía metabolizable	28
6.1.2 Degradabilidad de la materia seca y proteína cruda de la pradera mesofítica	29
6.1.2.1 Degradabilidad de la materia seca	29
6.1.2.2 Degradabilidad de la proteína bruta.....	32
6.2 Variables ruminales de vacas lecheras pastoreando la pradera mesofítica	34
6.2.1 pH ruminal	34
6.2.2 Amoníaco ruminal	35
6.2.3 Ácidos grasos volátiles	36
6.3 Variables productivos	37
6.3.1 Consumo de materia seca.....	37
6.3.2 Producción de leche	38
6.3.3 Composición de leche	40
6.3.4 Condición corporal.....	41
6.3.5 Peso vivo.....	42
6.4 Correlaciones entre las distintas variables	44

6.4.1 Correlaciones entre variables de la pradera mesofítica.....	44
6.4.2 Correlaciones entre variables ruminales	45
6.4.3 Correlaciones entre variables productivas	47
6.4.4 Correlaciones entre variables de la pradera y variables ruminales	49
6.4.5 Correlaciones entre variables ruminales y variables productivas	51
6.4.6 Correlaciones entre variables de la pradera y variables productivas	53
7. Regresiones	54
7.1 Regresión entre la EM de la pradera y la DP de la MS.....	55
7.2 Regresión entre la PB de la pradera y la DP de la MS.....	56
7.3 Regresión entre la FDN de la pradera y la DP de la MS.....	56
7.4 Regresión entre la FDN de la pradera y el parámetro de degradabilidad “a”	57
7.5 Regresión entre la PB de la pradera y el NH ₃ ruminal	58
7.6 Regresión entre la FDN de la pradera y el NH ₃ ruminal	59
7.7 Regresión entre la DP de la MS y el NH ₃ ruminal	59
7.8 Regresión entre el NH ₃ ruminal y el CPR en la leche	60
7.9 Regresión entre el peso de los animales y la PLCE.....	61
8. CONCLUSIONES	63
9. BIBLIOGRAFÍA	64
10. APÉNDICES.....	68
10.1 Degradabilidad de la MS.....	68
10.2 Degradabilidad de la PB	68
10.3 Análisis de correlación 1	68
10.4 Análisis de correlación 2.....	70
10.5 Análisis de regresión.....	71

1. RESUMEN

En la Estación Experimental Oromo, perteneciente al Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, se realizó un estudio con el fin de determinar el efecto de la variación en la concentración de nutrientes y de la degradabilidad de la pradera, sobre el consumo de MS, la producción de metabolitos ruminales y la producción y composición de leche, y además, determinar el grado de correlación entre estas variables y ecuaciones que permitan predecir la producción y composición de la leche a partir del valor nutritivo de la pradera.

El estudio se realizó a partir del 25 de enero hasta el 22 de abril del año 2011 y tuvo una duración de 13 semanas. Se utilizaron tres vacas Holstein neozelandés en lactancia tardía, provistas de cánula ruminal, las cuales consumieron únicamente una pradera mesofítica a través del pastoreo directo.

Las variables de la pradera estudiadas fueron; contenido de proteína bruta, fibra detergente neutro y energía metabolizable, además de degradabilidad de la materia seca y de la proteína bruta. Las variables ruminales estudiadas fueron pH ruminal, amoníaco ruminal y ácidos grasos volátiles (ácido acético, propiónico y butírico). Las variables productivas estudiadas fueron consumo de materia seca, producción de leche, contenido de grasa y proteína láctea, condición corporal y peso vivo.

Dentro de las correlaciones significativas entre variables de la pradera y variables ruminales, el amoníaco ruminal se correlacionó en forma positiva con el contenido de energía metabolizable, contenido de proteína bruta y la degradabilidad real de la MS, mientras que se correlacionó en forma negativa con el contenido de fibra detergente neutro. Además, la degradabilidad real de la MS se correlacionó en forma negativa con el porcentaje de ácido acético en el rumen.

El grado de asociación entre variables productivas y variables ruminales fue positivo para el contenido de grasa y proteína láctea, y negativa para la producción de leche con el pH ruminal. El NH_3 se correlacionó en forma positiva con el contenido de proteína láctea y en forma negativa con la producción de leche, peso y condición corporal. El peso se correlacionó en forma positiva con el porcentaje de ácido acético y en forma negativa con el porcentaje de ácido propiónico, al igual que la condición corporal. Además, la condición corporal se correlacionó negativamente con el porcentaje de ácido butírico.

En el caso de las correlaciones significativas entre variables de la pradera y variables productivas, el contenido de proteína bruta de la pradera se correlacionó en forma negativa con la producción de leche y el peso vivo, y en forma positiva con el contenido de proteína láctea. Sin embargo, el contenido la fibra detergente neutro se correlacionó negativamente con el contenido de proteína láctea.

La maduración que experimenta la pradera hasta fines de verano, provocan una disminución en su calidad nutritiva, disminuyendo el consumo de MS, la producción de AGV en el rumen y la producción de leche. Además, disminuye el volumen de leche producida y aumenta su concentración de sólidos lácteos, debido principalmente a un efecto de concentración y a un incremento en el contenido de FDN de la pradera.

Palabras clave: Bovinos, lechería, nutrición.

2. ABSTRACT

At the Oromo Experimental Station of the Animal Production Department, Faculty of Agricultural Science, University of Chile, a study was conducted in order to determine the effect of nutrient concentration changes and pasture degradability, on dry matter intake, ruminal metabolic parameters and milk yield and composition. Besides, correlations among variables and equations to predict milk yield and composition from pasture nutritive data were estimated.

The study lasted 13 weeks, from January the 25th to April the 22th, 2011. Three late lactating, rumen fistulated New Zealand Holstein cows fed only by grazing a mesophytic pasture.

Pasture variables under study were: Crude protein, neutral detergent fiber, metabolizable energy, dry matter and crude protein degradability. Ruminal variables studied were: pH, ammonia, volatile fatty acids (acetic, propionic and butyric). Productive variables studied were: dry matter intake, milk yield, milk fat and protein, body condition and live weight.

A positive, significant correlations among ruminal ammonia with metabolizable energy, crude protein and true dry matter degradability was found and negative correlated with neutral detergent fibre. Also, true dry matter degradability was negatively correlated with ruminal acetic acid concentration.

Ruminal variables were positive and significant correlated with milk fat and protein content, and ruminal pH was negative correlated with milk yield. Ammonia was positively correlated with milk protein and, negatively correlated with milk yield, live weight and body condition. Live weight was, positively correlated with acetic acid percentage, and negatively correlated with propionic acid and body condition. Body condition was negatively correlated with butyric acid concentration

Pasture crude protein was negatively correlated with milk yield and live weight; and positively with milk protein content. Neutral detergent fiber was negatively correlated with milk protein.

The ripening process of the pasture, at the end of summer, causes a decrease in its nutritional quality and reduces dry matter consumption, volatile fatty acid ruminal production and milk yield. As milk yield decreases milk solids increase mainly due to a concentration process and also to the increase in pasture neutral detergent fiber content.

Key words: dairy cattle, nutrition.

3. ABREVIATURAS

a: fracción soluble de la MS.

AAC: concentración de ácido acético en licor ruminal (mg/l).

ABU: concentración de ácido butírico en licor ruminal (mg/l).

AGV: ácidos grasos volátiles.

APR: concentración de ácido propiónico en licor ruminal (mg/l).

AT: AGV totales, sumatoria ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico (mg/l).

b: fracción insoluble, potencialmente degradable, de la MS.

c: tasa de degradación de la MS.

CC: condición corporal.

CGR: contenido de grasa en leche (gr/kg).

CNE: carbohidratos no estructurales.

CPR: contenido de proteína en leche (gr/kg).

DP: degradabilidad potencial de la MS (%).

DR: degradabilidad real de la MS (%).

EM: energía metabolizable en la (MJ/kg de materia seca).

FDN: fibra detergente neutro (%) en la MS.

MO: microorganismos.

MS: materia seca.

NH₃: amoníaco (mg/100 ml) en el licor ruminal.

PAAC: ácido acético/ AGV totales.

PABU: ácido butírico / AGV totales.

PAPR: ácido propiónico/ AGV totales.

PB: proteína bruta (%) en la MS.

PLCE: producción de leche corregida por energía y proteína (kg/día).

4. INTRODUCCIÓN

En Chile, la producción de leche se desarrolla principalmente en la zona sur del país, especialmente entre las Regiones de los Lagos y de los Ríos. La región productora por excelencia, con una producción y entrega a plantas lecheras de más de 980 millones de litros el año 2011 es la Región de los Lagos (X Región), producción que corresponde al 46,9% de la producción total del país ese año. (ODEPA, 2011)

En general en Chile, se han desarrollado tres modelos de producción de leche: el modelo europeo o intermedio, el americano o intensivo y el neozelandés, que privilegia la producción de leche por hectárea y utiliza la pradera como base fundamental de la alimentación del ganado, aprovechando al máximo las potencialidades de las vacas y de las praderas (Navarro *et al.*, 2006).

En la zona sur, esta actividad lechera se desarrolla principalmente dentro de sistemas productivos que utilizan el modelo neozelandés. La pradera o pastura es el alimento de menor costo y debe ser utilizada en la forma más eficiente posible, complementada de acuerdo a sus limitantes nutricionales (Ruiz, 1994). Es por esto, que generalmente se utiliza un sistema de pariciones estacionales de primavera, en el cual se ajustan los requerimientos nutricionales de las vacas en lactancia a la curva de crecimiento de los pastos (Anrique *et al.*, 2004).

La Región de los Lagos (X Región) cuenta con temperaturas medias anuales de 11°C y una precipitación media anual de 1.330 mm en Osorno, sin meses secos durante el verano, lo cual determina la presencia de un clima templado lluvioso con influencia mediterránea (DGAC, 2011). Este tipo de clima es ideal para el crecimiento y desarrollo de las praderas que pueden producir durante todo el año, dependiendo del tipo de ciclo de vida que presenten.

La ballica perenne (*Lolium perenne* L.) es una de las especies forrajeras más importantes del sur de Chile, además de ser la principal especie sembrada en praderas de asociación con trébol rosado (*Trifolium pratense* L.) o trébol blanco (*Trifolium repens* L.) (Cubillos *et al.*, 1970).

Cada forrajera o mezcla de especies tiene ciclos de crecimiento vegetativo más o menos activo y periodos de descanso o latencia que se alteran regularmente a lo largo de año, estos

están definidos en gran medida por las variaciones climáticas de cada año (Bernier y Teuber, 1981).

La maduración de la ballica a fines de primavera, reduce la cantidad de alimento y el consumo por parte de los animales, lo que se refleja en una rápida disminución de la producción de leche en esta época (ODEPA, 2010). Los cambios estacionales en la digestibilidad de las praderas y la composición del alimento pueden aumentar o llevar más lejos aun las limitaciones que ésta presenta.

4.1 Cambios estacionales de la pradera

Es la zona sur del país, las praderas permanentes son de alta complejidad y dinamismo a través año, de modo que, como señala Cuevas *et al.* (1983) es de gran importancia conocer la producción de materia seca, su distribución estacional y los cambios en la composición química que sufre su masa vegetal, ya que esto determinará la oferta de forraje en las distintas épocas del año.

Este dinamismo se debe principalmente a variaciones en la temperatura, el fotoperiodo y la disponibilidad de agua en el suelo a lo largo del año, lo que produce además una variación en la composición botánica de la pradera, presentándose épocas propicias para el crecimiento de leguminosas y de gramíneas. Esto se traduce en variaciones del valor nutritivo de la pradera de asociación (Alamos, 2004).

4.1.1 Crecimiento de la pradera

Durante un ciclo de crecimiento anual, la pradera o pastura presenta marcadas variaciones tanto en la calidad como disponibilidad del forraje. En la zona sur de Chile, la mayor disponibilidad y digestibilidad de la pradera ocurre durante la primavera, cuando esta alcanza las máximas tasas de crecimiento, lo que asegura normalmente que los animales ingresen al potrero sin limitantes de disponibilidad, para luego disminuir en forma paulatina durante el periodo estival (Klein, 2001).

En la Figura 1, se observan dos situaciones: un período productivo con verano húmedo y otro con verano seco. En el primer caso, existió una producción de 14 ton ha⁻¹ año⁻¹ de MS, y en el segundo caso de 9,2 ton ha⁻¹ año⁻¹ de MS, lo cual corresponde en la práctica a una reducción del rendimiento de la pradera de un 34% (Teuber y Dumont, 1996). Las praderas de lechería, sin embargo, en años normales no presentan una caída importante en su calidad nutricional durante el verano (Anrique *et al.*, 2010).

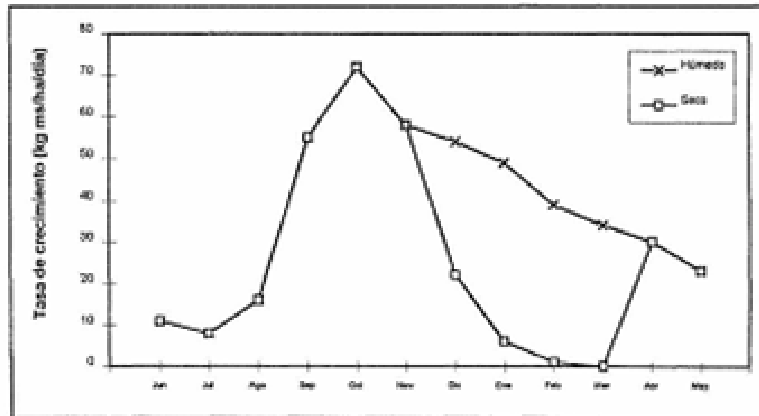


Figura 1. Curva de distribución estacional de una pradera sembrada en el llano longitudinal de Osorno (Teuber y Dumont. 1996).

Por otro lado, en la Figura 1 se puede observar que la tasa máxima de crecimiento ocurre en la primavera, durante el mes de Octubre, con una producción sobre los $70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ de MS, y una tasa de crecimiento mínima en invierno, durante el mes de Julio, con aproximadamente $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ de MS.

El crecimiento de la pradera en primavera y verano está determinado por la disponibilidad de agua en el suelo y la baja tasa de crecimiento invernal se debe a las bajas temperaturas y exceso de agua que precipita, lo que inhibe el crecimiento de las praderas en esta época del año (Alamos, 2004).

Bernier y Teuber (1981) indicaron que en primavera se produce aproximadamente un 40% del forraje anual y que en un año con verano húmedo se produce más del 70% del forraje anual durante el periodo primavera-verano.

Estudios realizados anteriormente por Cuevas *et al.* (1983) muestran resultados muy similares con tasas de crecimiento máximas durante el mes de Noviembre y mínimas en el mes de Junio, y una distribución estacional del forraje (MS) total producido de un 48,9% en primavera ($4.306 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de MS), 26,1% en verano ($2.298 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de MS), 19,7% en otoño ($1.735 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de MS), y sólo un 5,3 % en invierno ($466 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de MS).

Alamos (2004) señala que el repunte del crecimiento que se observa en otoño es muy importante para los sistemas de producción pecuaria en esta zona.

4.1.2 Valor nutritivo de la pradera

Todo forraje se constituye por tejidos compuesto por células, las cuales contienen agua y materia seca (MS). Dentro de la MS se encuentran los diferentes principios nutritivos (carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales), y a medida que las plantas avanzan en su estado fenológico, se producen cambios en los componentes celulares, los que alteran la calidad nutritiva del forraje (Teuber *et al.*, 2007).

Tanto las proteínas como los carbohidratos no estructurales (CNE) son de rápida digestión a nivel ruminal y su contenido varía dependiendo del estado de madurez del forraje, de esta manera, el contenido de proteína puede variar entre 7 y 30% de la MS, ya que va disminuyendo con el avance del estado fenológico de la planta, y el contenido de CNE entre 5 y 25%, alcanzando sus valores máximos en primavera (Canseco *et al.*, 2007).

El contenido celular puede representar cerca de un 65% de la MS en plantas inmaduras, pero puede disminuir a menos del 50% en plantas que alcanzan su madurez (Canseco *et al.*, 2007).

Las praderas de la zona sur están compuestas principalmente por gramíneas con una baja proporción de leguminosas (6 a 8% de aporte a la producción de MS), lo cual contribuye a una mayor fluctuación en la composición nutritiva de la pradera al pasar de primavera a verano (Anrique *et al.*, 2010).

Como se observa en el Cuadro 1, a medida que una planta de ballica avanza en su estado de maduración el contenido de MS y las fracciones fibrosas tienden a aumentar, mientras que el contenido de PB y el valor energético tiende a disminuir a medida que progresa la fenología (Alomar *et al.*, 1997).

Cuadro 1. Composición química de ballica Concord (base MS) en diferentes estados fenológicos (Alomar *et al.*, 1997).

Corte	MS%	PB%	FDN%	FDA%	EM (MJ kg ⁻¹ de MS)
Bota 9/11/94	13,2	13,7	50,8	30,6	10,2
Espiga 16/11/94	15,9	11,7	52,4	31,3	10,4
Flor 23/11/94	19,2	12,2	56,0	34,7	10,3
Grano 22/12/94	29,5	7,8	60,9	39,5	9,2

MS: Materia seca (%), PB: Proteína bruta (%), FDN: Fibra detergente neutro (%), FDA: Fibra detergente ácido (%), EM: Energía metabolizable (MJ kg⁻¹ de MS).

Lo anterior concuerda con lo descrito por Chaves *et al.* (2002) sobre la relación entre la ballica y su madurez, quien además señala que una lenta digestibilidad de esta fibra sumado al bajo contenido de proteína cruda del pasto maduro limita las entradas de energía y proteína al sistema.

El aporte nutritivo también depende de la cantidad de forraje disponible por animal, pues les permite ser más selectivo en relación a lo que consumen, y de la cantidad de material vegetal muerto presente en la pradera, el cual puede ser de hasta un 50% en el periodo verano-otoño (Anrique *et al.*, 2010).

4.1.2.1 Contenido de energía metabolizable (EM) de la pradera

En sistemas pastoriles, la energía frecuentemente es el primer nutriente limitante en la dieta. El contenido de EM en base al contenido de MS de una pradera permanente de la zona sur, compuesta de ballica y trébol blanco, varía levemente de una estación a otra, alcanzando su valor máximo de 11,8 MJ kg⁻¹ en otoño, para posteriormente disminuir a 11,5 MJ kg⁻¹ en invierno, 11,1 MJ kg⁻¹ en primavera y 9,8 MJ kg⁻¹ en verano, cuando alcanza su valor mínimo (Anrique *et al.*, 2010).

Parga (2003) señala que el contenido más alto de EM se logra en primavera, y no en otoño, con 11,7 a 12,5 MJ kg⁻¹ de MS, y luego disminuye en verano con 9,2 a 10,5 MJ kg⁻¹ de MS, para estabilizarse en otoño e invierno con 11,3 a 11,7 MJ kg⁻¹ de MS, sin embargo se observa que los valores para EM varían dentro de rangos muy similares a los descritos por Anrique *et al.* (2010).

Cuevas *et al.* (1983) también obtuvieron datos que indican un máximo de EM en la pradera durante la primavera (9,6 MJ kg⁻¹ de MS), pero con un mínimo de EM durante el verano (7,7 MJ kg⁻¹ de MS), como lo indica Anrique *et al.* (2010).

Valores similares entregó Klein (2001) en su estudio, tanto para primavera como para verano, con un contenido de EM de 11,9 MJ kg⁻¹ de MS y un 10,8 MJ kg⁻¹ de MS, respectivamente.

Jacobs *et al.* (1999) realizaron estudios en Nueva Zelanda sobre la variación que presenta el valor nutritivo de praderas permanentes a lo largo del año, compuestas principalmente por ballica perenne y distintas proporciones de trébol blanco, observando que la menor concentración de EM se presenta durante fines de verano y comienzos de otoño con un contenido de entre 8,3 y 9,2 MJ kg⁻¹ de MS, y la mayor concentración de EM se presenta desde fines de invierno hasta primavera con un contenido de entre 11,5 y 11,7 MJ kg⁻¹ de MS. Estos valores concuerdan con los valores obtenidos en estudios realizados en Chile, y con la dinámica a lo largo del año que describió Parga (2003).

4.1.2.2 Contenido de proteína bruta (PB) de la pradera

A lo largo del año, el contenido de proteína bruta (PB) en la pradera presenta un comportamiento similar al de la EM, alcanzando concentraciones máximas en invierno de 26 a 28% y mínimas de 10 a 12% en verano (Jacobs *et al.*, 1999).

Cubillos *et al.* (1970) realizaron un estudio en la ciudad de Osorno (X Región) durante el periodo primavera-verano con praderas de ballica asociada a trébol. En estas observó cómo el contenido de PB declinó al aumentar la edad de la planta. Además, determinó una disminución mayor durante el mes de Octubre y comienzos de Noviembre, la cual fue en promedio de 0,5% al día, para posteriormente seguir disminuyendo en promedio un 0,1% al día, durante fines de Noviembre, Diciembre y Enero. El valor máximo alcanzando de PB fue de 26,4% a comienzo de Octubre y mínimo de 4,4% en el mes de Enero.

Parga (2003) entregó valores para praderas bien manejadas de la zona sur, en las cuales los contenidos más bajos de PB se observan en verano con un 12 a 15%, duplicándose prácticamente en otoño con un 24 a 29%, posteriormente alcanzan su contenido máximo de 24 a 30% en invierno y finalmente presentan una leve disminución en primavera a un 22 a 27%. Anteriormente, Cuevas *et al.* (1983) señalaron contenidos de PB semejantes, con valores máximos y mínimos menores.

Estos valores son además muy similares a los entregados por Klein (2001) el mismo año para la temporada primavera y verano, con un contenido de PB de 27,2% y 14,8% respectivamente.

Anrique *et al.* (2010) entregaron valores mayores, pero con el mismo comportamiento a lo largo del año. Estos autores señalan que la PB en las praderas de lecherías permanentes fertilizadas en la zona de Osorno presentan su menor contenido en verano de 18,4%, recuperándose en otoño hasta un 24,2% para luego alcanzar su contenido máximo de 28% en la MS en invierno y posteriormente volver a disminuir en primavera hasta un 21,6%.

La variabilidad observada entre los datos es atribuible a posibles variaciones en la composición botánica de las praderas utilizadas, ya que a pesar de ser praderas permanentes de la zona sur, no se describe con exactitud las distintas especies que las componen.

4.1.2.3 Contenido de fibra detergente neutro (FDN) de la pradera

La fibra detergente neutro corresponde a la pared de las células de las plantas, esta es de lenta degradación y evacuación del rumen, por lo que al incrementarse el nivel de fibra, se ejerce un efecto físico que limita el consumo de MS (Canseco *et al.*, 2007). Su contenido

en la planta presenta un comportamiento inverso al de la EM y la PB, alcanzando sus menores concentraciones en invierno y mayores en verano (Jacobs *et al.*, 1999).

Cubillos *et al.* (1970) observaron un aumento en la FDN desde primavera a verano de un 0,2% en promedio al día, aumentando desde un 23,6% en Octubre a un 41,9% a fines de Enero.

Estudios recientes de Anrique *et al.* (2010) indicaron que la FDN se mantiene alta durante todo el año en praderas constituidas de ballica y baja proporción de trébol blanco, alcanzando valores mínimos en otoño de 45,2%, aumentando paulatinamente hacia invierno con 49,2%, primavera con 50,8% hasta alcanzar su valor máximo en verano con un 51,6%.

Estos valores son muy similares a los entregados por Parga (2003), sin embargo estos indican que los contenidos mínimos de FDN se presentan en primavera con un 35 a 45%, y los máximos en verano con un 50 a 60%, para posteriormente disminuir a un 40 a 45% en otoño y un 44 a 48% en invierno. Klein (2001) entregó valores similares de FDN tanto para el periodo de primavera (36,5%) como para el de verano (54,9%).

Jacobs *et al.* (1999) obtuvieron valores de FDN mayores en estudios realizados en Nueva Zelanda con pradera similares, sin embargo estos presentaron una dinámica similar a lo largo del año, alcanzando su mayor concentración en verano con 64 a 69% y su menor concentración en invierno con un 43 a 46%.

4.1.2.4 Digestibilidad de la pradera

La digestibilidad de la pradera es el principal indicador de la disponibilidad de nutrientes para el animal, particularmente energía. Esta puede variar en praderas desde un 55% a un 85% asociado principalmente al estado de madurez de las plantas (Canseco *et al.*, 2007).

La digestibilidad de los alimentos esta inversamente relacionado con el contenido de fibra de estos. Anrique *et al.* (2010), en las tablas de alimento desarrolladas por el consorcio lechero, indica que tanto los valores de FDN como de FDA (fibra detergente ácido) se hacen mínimos en el mes de Septiembre, cuando su digestibilidad se maximiza.

Cubillos *et al.* (1970) señalaron que desde primavera a verano la digestibilidad de la pradera disminuye un 0,5% en promedio al día, desde un 82% en Octubre a un 38% en Enero, y que ballicas inmaduras poseen una alta digestibilidad.

Parga (2003) realizó estudios con praderas bien manejadas de la zona sur, las cuales presentaron una digestibilidad máxima en primavera de 83 a 92% y una mínima en verano de 65 a 75%, para estabilizarse en otoño e invierno con valores intermedios de 80 a 85%.

Machado *et al.* (2005) utilizaron una pradera de ballica perenne y trébol blanco en Nueva Zelanda para determinar las correlaciones existentes entre el contenido de materia seca y algunas variables de la calidad de la pradera. Esta pradera presentó a lo largo del año un contenido de proteína de entre 23 y 27%, de EM de entre 10,9 y 11,8 MJ kg⁻¹ MS, y un contenido de FDN de 38,8 y 40,8%. El mayor grado de correlación se encontró entre el contenido de FDA y FDN ($r=0,8$), y entre estas variables y el contenido de carbohidratos no estructurales ($r=-0,7$ y $r=-0,66$ respectivamente), EM ($r=-0,56$ y $r=-0,59$ respectivamente) y proteína ($r=-0,33$ y $r=-0,27$ respectivamente). Además se asoció positivamente el contenido de carbohidratos no estructurales al contenido de EM ($r=0,5$) y proteínas ($r=0,4$), las cuales a su vez se asociaron negativamente a la producción de materia seca (kg ha⁻¹ de MS).

4.2 Variables ruminales de animales en sistemas pastoriles

Como consecuencia de los cambios que sufre la pradera a lo largo del año, se producen también cambios para el animal a nivel ruminal, alterándose su pH, la concentración de amoníaco y tanto la cantidad como la proporción de ácidos grasos producidos en este.

El sistema ruminal es controlado principalmente por el tipo y cantidad de alimentos consumidos, el paso de los alimentos a segmentos posteriores del aparato digestivo, la rumia, la cantidad de saliva que ingrese al rumen, la remoción de los desechos no digeribles y la absorción de los AGV (Contreras *et al.*, 2010).

La producción de ácidos grasos volátiles (AGV), depende de la composición de la ración o tipo de forraje, la actividad microbiana, el pH del medio y la frecuencia de ingestión de alimentos. La proporción de cada AGV en la mezcla varía con la calidad, cantidad y aun la textura de los componentes de la ración, de esta manera el sustrato predominante en la ración tiene una influencia muy marcada sobre los AGV producidos (Zavaleta de Lucio, 1976).

El pH ruminal es una condición altamente dinámica, ya que está determinado por el equilibrio entre la tasa de producción y remoción de AGV, como consecuencia de la fermentación ruminal de los forrajes (Contreras *et al.*, 2010). Por lo tanto, existe una

correlación negativa entre la concentración de AGV y el pH ruminal, ya que estos son los principales responsables de la acidificación ruminal (Kolver y Veth, 2002).

Contreras *et al.* (2010) señala que hay una alta variabilidad en los valores de pH, así como en los productos de la fermentación ruminal cuando las dietas son ricas en forrajes fresco, elevándose el pH ruminal a valores entre 6,2 y 6,8. También señala que en estos casos predominan los microorganismos celulolíticos en el rumen, como consecuencia de dietas ricas en fibra, los cuales favorecen la producción de acetato, y que en dietas ricas en carbohidratos no estructurales predominan los microorganismos amilolíticos, los cuales favorecen la producción de propionato ruminal. Por lo tanto, existe una relación inversa entre la producción de acetato y propionato, aunque la producción de acetato generalmente se mantiene superior, alcanzando valores del 70% o más de los AGV producidos.

Por otro parte, el pH ruminal no es constante a lo largo del día, lo cual está asociado a los periodos de la ingesta de forrajes y a los periodos de rumia de las vacas (Scandolo *et al.*, 2007).

Kolver y Veth (2002) realizaron un estudio para obtener predictores del pH ruminal en vacas a pastoreo. Dentro de sus resultados, determinaron que la producción de leche, la proteína en leche y las concentraciones ruminales de acetato, propionato, butirato y AGV totales, están relacionados negativamente con el pH ruminal. De la misma manera, determinaron que el acetato como proporción de AGV totales, la relación acetato:propionato, el porcentaje de grasa en leche, y la relación grasa:proteína en leche, están relacionados positivamente con el pH ruminal.

4.3 Producción de leche en sistemas pastoriles

Vacas con alimentación exclusivamente a pastoreo son capaces de consumir suficiente energía para producir alrededor de 25 litros de leche con una pérdida mínima de la condición corporal. Sin embargo, el periodo de óptima composición nutricional y disponibilidad de los pastos que permite obtener estas producciones, sólo se presenta durante la primavera (Klein, 2001), por lo tanto durante el periodo estival y comienzos de otoño es común observar un paulatino descenso en la condición corporal de las vacas aun en producción.

En un sistema lechero pastoril el descenso en la producción de leche ocurrirá, en parte como consecuencia de la disminución en la producción de materia seca por parte de la pradera y la disminución de su calidad nutritiva al cambiar de estado fenológico, pero

además estará fuertemente afectado por la etapa de la lactancia en que se encuentren las vacas.

A su vez, existe una relación directa entre la forma de la curva de lactancia y la producción de materia seca por parte de la pradera, en sistemas de alimentación basados en esta (Mejía *et al.*, 1990).

4.3.1 Curva de lactancia

La curva de lactancia representa gráficamente la evolución de la producción lechera desde el parto hasta el secado, además puede ser descrita mediante una función matemática de un proceso biológico complejo y sujeto a variadas influencias, pero que finalmente estará determinada principalmente por la eficiencia biológica de una vaca (Quintero *et al.*, 2007).

La vaca alcanza un máximo en la producción diaria entre la segunda y sexta semana de lactancia y presenta un descenso constante desde la semana 6 a la 44, cuando la lactancia generalmente termina, dos meses antes del parto y de la lactancia siguiente (Swan, 1983).

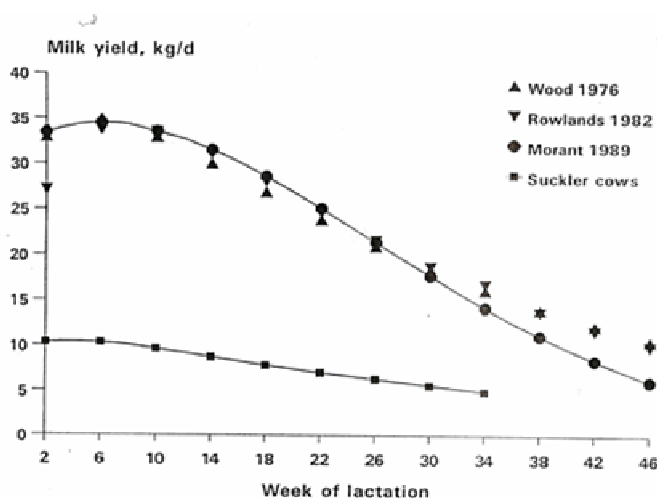


Figura 2. Comparación de las curvas de lactancia de vacas lecheras y vacas de cría (Fuente: citado por AFRC, 1993).

La Figura 2, citada por AFRC (1993), muestra la comparación entre distintas curvas de lactancia. Estos trabajos pertenecen a distintos autores, quienes desarrollaron ecuaciones con el fin de predecir la curva de lactancia de vacas lecheras. La AFRC (1993), además señaló que para predecir la producción de leche de vacas lecheras, es preferible utilizar la

ecuación realizada por Morant (1989). Esta curva de producción láctea, presenta un comportamiento muy similar al descrito por Swan (1983).

4.3.2 Composición de la leche

La etapa de la curva de la lactancia en la que se encuentre una vaca también afecta la composición de la leche que esta produce, en especial la concentración de sólidos lácteos como la materia grasa y la proteína. Esto se debe principalmente, a que por efectos de disolución a medida que asciende la producción de leche esta presenta una menor concentración de sólidos totales, haciéndose mínimos los contenidos de grasa, proteína y sólidos totales en el momento de máxima producción, y viceversa (Swan, 1983).

La nutrición constituye la vía más rápida para alterar la composición química de la leche, ya que la cantidad y proporción de cada AGV producido en el rumen tiene una estrecha relación con la producción y composición de la leche.

El contenido de grasa en la leche es fácilmente alterable, entre los factores que pueden afectar la cantidad y la composición de esta se encuentra el contenido y calidad de la fibra (es necesario entre un 19 a 21% de FDN para prevenir reducciones en la concentración de grasa láctea), la proporción del forraje al concentrado, el sitio y la tasa de degradación del almidón y la composición de los ácidos grasos. Sin embargo el contenido de proteína en la leche es más difícil de alterar, ya que depende del consumo de energía y del tipo de proteína consumida (Dwain, 2004).

Bargo *et al.* (2003) realizaron una revisión sobre la suplementación de vacas a pastoreo, en la cual se entregan los siguientes datos respecto a la producción y composición láctea de los grupos control, alimentados únicamente a pastoreo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Producción y composición láctea de grupos control (Bargo *et al.*, 2003).

Referencia	Pradera	CS (kg día ⁻¹)	PL (kg día ⁻¹)	G %	P %
Dillon <i>et al.</i> , 1997	BP	17,1	24	3,7	3,3
Robaina <i>et al.</i> , 1998	BP/TB	14,3	12,9	4,3	3,1
Wales <i>et al.</i> , 2001	BP/TB	15,6	24,2	3,7	3
King <i>et al.</i> , 1990	BP/TB	17	23,4	4,3	2,9

BP: Ballica perenne, TB: Trébol blanco, CS: Consumo MS (kg día⁻¹), PL: Producción leche (kg día⁻¹), G: Grasa láctea (%), P: Proteína láctea (%).

Como queda en evidencia en el Cuadro 2, tanto los valores de producción como de composición de leche pueden variar ampliamente, ya que estas variables productivas dependen también de otros factores, además del tipo de alimento y la cantidad de MS consumida, como lo es la etapa de la curva de lactancia en que se encuentren.

El conocimiento y estudio de todos estos antecedentes, junto con el uso de técnicas estadísticas, permite determinar el grado de asociación entre las variables de importancia a nivel productivo y a la vez obtener ecuaciones de tipo predictivo para estas mismas variables.

Esta información puede constituir una excelente herramienta en la práctica para lograr un mayor nivel de eficiencia en los sistemas lecheros que basan la alimentación del ganado en la pradera, mejorando el grado de sincronización entre la producción y composición de la materia seca de la pradera, y la producción y composición de leche.

4.4. Hipótesis

Las hipótesis planteadas de acuerdo a los antecedentes revisados son las siguientes:

1. Los cambios fenológicos de una pradera mesofítica provocan una disminución de su calidad nutritiva que afecta negativamente el consumo y la producción de ácidos grasos volátiles, lo que se traduce en una menor producción de leche, con mayor concentración de sólidos totales.
2. Existe una alta correlación entre la concentración de nutrientes en la pradera, la concentración de amoníaco y ácidos grasos ruminales y la producción y composición de la leche, lo que permitiría obtener ecuaciones predictivas de la producción y composición de leche a partir de la calidad nutritiva de la pradera, para una determinada etapa de la lactancia.

4.5 Objetivos

- Determinar la variación en la concentración de nutrientes y de la degradabilidad de la pradera durante tres meses de la lactancia (Hipótesis 1).
- Cuantificar los efectos de las distintas concentraciones de nutrientes de la pradera sobre el consumo de MS, la producción de metabolitos ruminales y la producción y composición de la leche (Hipótesis 1).
- Determinar el grado de correlación existente entre la concentración de nutrientes en la pradera, la concentración de NH_3 y AGV ruminales y la producción y composición de leche (Hipótesis 2).
- Obtener ecuaciones que permitan predecir la producción y composición de la leche a partir del valor nutritivo de la pradera (Hipótesis 2).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

Lugar de Estudio: El estudio se realizó en la Estación Experimental Oromo, perteneciente al Departamento de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la Región de Los Lagos, Provincia de Osorno, comuna de Purranque. Este predio se encuentra en los 41° 08' de latitud sur y 73° 09' de longitud oeste, a una altura aproximada de 149 m.s.n.m.

Época y duración del ensayo: El ensayo se llevó a cabo durante el periodo verano-otoño del 2011, con una duración de tres meses (trece semanas) a partir del 25 de Enero hasta el 22 de Abril del mismo año.

Animales: Se utilizaron tres vacas Holstein neozelandés en lactancia, las cuales fueron previamente fistuladas y provistas de cánulas ruminales. Estos animales fueron seleccionados en función de su nivel productivo, número de partos y fecha de partos (primavera), con el fin de obtener el mayor grado de homogeneidad posible.

Pradera: Se empleó una pradera mesofítica de seis hectáreas aproximadamente, separada en tres potreros uniformes entre sí. La pradera fue manejada mediante el uso de cercos eléctricos para que los animales consuman la pradera a través de pastoreo en franjas.

Infraestructura: La Estación Experimental Oromo cuenta con la siguiente infraestructura y construcciones:

Sala de ordeña “*side by side*” de 11 unidades, con sistema de ordeña tecnificado y provista de sistema de control y muestreo lechero individual.

- Corrales y manga para manejos especiales.
- Balanza tipo romana para animales.
- Equipo de secado, centrifugación, refrigeración y congelación de muestras.
- Cercos eléctricos para el manejo de la pradera en los potreros.

El Laboratorio de Nutrición Animal, ubicado en la Facultad de Ciencias Agronómicas, cuenta con el equipamiento necesario para realizar el análisis proximal de las muestras de la pradera y de amoníaco (NH₃) en licor ruminal.

5.2 Mediciones realizadas

1. Concentración de nutrientes de la pradera.
2. Degradabilidad de la pradera.
3. Variables ruminales de vacas lecheras pastoreando la pradera.
4. Producción y composición de leche.
5. Peso vivo y condición corporal.

5.2.1 Técnicas Experimentales

Estas variables se determinaron en forma semanal, durante trece semanas, y en forma individual para cada uno de los animales en estudio.

5.2.1.1 Variables nutricionales de la pradera

El muestreo de la pradera se realizó en forma semanal para cada animal por separado. Las muestras diarias de pradera se compusieron de 8 sub-muestras, las cuales se realizaron cada una hora aproximadamente, 4 veces durante la mañana y 4 veces durante la tarde, en forma posterior a cada ordeña. Las sub-muestras se realizaron mediante el método “*hand clipping*”, el cual simula el corte realizado por el animal al consumir la pradera.

Las muestras fueron inmediatamente secadas en una estufa de aire forzado a 70°C hasta peso constante. Estas permanecieron almacenadas hasta finalizar el ensayo y posteriormente fueron llevadas al Laboratorio de Nutrición Animal para realizar el análisis proximal y la degradabilidad “*in situ*”.

1. Análisis del valor nutritivo

- Proteína (N x 6,25): se determinó por medio de la determinación del nitrógeno por el método Micro Kjeldahl (Buchi Laboratory-Techniques).
- Energía bruta: se determinó mediante la combustión de la muestra en un calorímetro de bomba balística.
- Fibra detergente neutro: se determinó mediante el método de Van Soest (1963).
- Digestibilidad aparente: se determinó mediante método enzimático (Cerdeira *et al.*, 1987).

A partir de la determinación de la energía bruta (EB) en las muestras de pradera, se estimó el contenido de energía digestible (ED) de estas, mediante la siguiente ecuación:

$$ED = EB \times \%DAPMS$$

Donde DAPMS es la digestibilidad aparente de la MS.

Posteriormente, se estimó el contenido de energía metabolizable (EM) a partir de energía digestible, mediante la siguiente ecuación:

$$EM = ED \times 0,84 \quad (\text{Para rumiantes})$$

2. Degradabilidad *in situ*: se realizó mediante el método de las bolsas de nylon propuesto por Orskov (1982), para lo cual se utilizaron cinco tiempos de incubación (2, 4, 6, 10 y 24 horas). Para cada tiempo se utilizaron dos bolsas y tres repeticiones (animales). Además se utilizaron tres bolsas para el testigo (T0).

Para calcular el porcentaje de desaparición de la materia seca (MS) se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Desaparición de la MS} = \frac{MS_i - MS_f}{MS_i} \times 100$$

Calculado el porcentaje de materia seca (MS), se determinó la desaparición de la proteína mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Desaparición de PB} = \frac{(MS_i \times PB_i) - (MS_f \times PB_f)}{(MS_i \times PB_i)} \times 100$$

Donde:

MS_i= Materia seca inicial (g)

MS_f= Materia seca final (g)

PB_i= Proteína bruta inicial (%)

PB_f= Proteína bruta final (%)

Los resultados obtenidos para cada tiempo de incubación se ajustaron a la ecuación Orskov (1982) mediante un programa estadístico, el cual permitió determinar a través de una regresión no lineal cada uno de los parámetros pertenecientes esta ecuación:

$$P = a + b(1 - e^{-ct})$$

Donde:

P= % de desaparición de la bolsa.

a= fracción soluble.

b= fracción potencialmente degradable.

c= constante para la tasa de degradación.

t= tiempo de incubación.

Posteriormente se calculó la degradabilidad efectiva o real (DR), incorporando el valor de la tasa de pasaje de $0,08 \text{ h}^{-1}$, equivalente a la tasa de pasaje del alimento por el rumen para vacas de alta producción. Esta se estimó de acuerdo a la ecuación de McDonald (1981):

$$DR = a + \frac{bc}{c+k} \times \exp^{-(c+k) \times t}$$

Donde:

DR= degradabilidad ruminal efectiva o real.

a,b y c= valores determinados en ecuación anterior.

k= tasa fraccional de pasaje desde el rumen ($k=0,08 \text{ h}^{-1}$).

t= fase de retardo en la fermentación.

5.2.1.2 Variables ruminales

1. Concentración de amoníaco en líquido ruminal: el muestreo se realizó dos veces al día, en forma posterior al pesaje de la mañana y a la ordeña de la tarde. El líquido ruminal se recibió en dos tubos con ácido sulfúrico 0,1 N para evitar la volatilización del amoníaco. Estas muestras permanecieron congeladas hasta ser analizadas mediante el método de Kaplan (Glic, 1969) en el Laboratorio de Nutrición Animal.

2. Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) en líquido ruminal: se realizó un muestreo y conservación del líquido ruminal de la misma forma que para determinar la concentración de amoníaco, con la única salvedad de que el líquido ruminal se recibió en dos tubos con ácido metafosfórico. Se utilizó un servicio externo para el análisis de las muestras (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso), el cual se realizó mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC).

3. pH ruminal: se determinó dos veces al día mediante un pH-metro de bolsillo, el cual fue puesto directamente en el rumen de cada animal al momento de retirar la cánula para las extracciones de líquido ruminal.

5.2.1.3 Variables productivas

1. El consumo de materia seca (CMS): se infirió en forma posterior al periodo de recolección y análisis de muestras de la pradera, a partir el método utilizado por González *et al.* (2005), previamente descrito por Baker (1985). En donde el CMS se obtiene a partir de la relación entre el contenido de EM de la pradera y los requerimientos totales de EM del animal:

$$CMS = \frac{RTEM}{CEMP}$$

Donde:

CMS (kg MS día⁻¹) = Consumo de materia seca (MS).

RTEM (MJ día⁻¹) = Requerimiento total individual de EM.

CEMP (MJ kg⁻¹ de MS) = Contenido de EM de la pradera consumida.

Para obtener el valor de RTEM (Requerimiento total de energía metabolizable) se utilizó la ecuación desarrollada por AFRC (1993):

$$\text{REMTC (MJ vaca}^{-1}\text{)} = \text{CL} \times \left(\frac{\text{EVm}}{\text{km}} + \frac{\text{EVI}}{\text{kl}} + \frac{\text{EVc}}{\text{kc}} \right)$$

Donde:

REMTC: Requerimientos diarios de energía metabolizable (EM).

CL: Coeficiente de corrección por nivel de alimentación.

EVm/km: Requerimientos de EM de mantención.

EVI/kl: Requerimientos de EM de lactancia.

EVc/kc: Requerimientos de EM de cambio de peso.

Para determinar CL, se calculó previamente la metabolibilidad del alimento ($q_m = \text{EM}/\text{EB}$) y las eficiencias de utilización de la EM (k) se calcularon mediante las siguientes ecuaciones (AFRC, 1993):

Mantención: $k_m = 0.35 q_m + 0.503$

Lactancia: $k_l = 0.35 q_m + 0.420$

Cambio de peso en vacas lactantes: $k_c = 0.95 k_l$

Movilización de tejido corporal para producción de leche: $k_t = 0.84$

Los valores de EVm, EVI y EVc se calcularon utilizando las ecuaciones número 39, 40, 44, 54 y 56 entregadas por la AFRC (1993).

El valor energético de un kg de leche (VEkg) se calculó utilizando la siguiente ecuación (Tyrrel y Reid, 1965):

$$\text{VEkg (MJ kg}^{-1}\text{)} = (0,0376 \times \text{grasa (g kg}^{-1}\text{)}) + (0,0209 \times \text{proteína (g kg}^{-1}\text{)}) + 0,948.$$

El valor energético de la producción total (VEpt) y la producción de leche corregida por energía (PLCE) se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{VEpt (MJ)} = \text{pl} \times \text{VE kg};$$

Donde Pl = producción de leche.

$$PLCE = VEpt/3.136$$

Finalmente, el consumo diario de materia seca por parte de los animales se expresó como g de MS por cada kg de peso metabólico ($PV^{0.75}$).

2. Producción de leche: la cantidad de leche producida por día ($lt\ día^{-1}$) se obtuvo a partir del promedio de la producción de tres días consecutivos. La producción total diaria correspondió a la sumatoria de los litros de leche producidos en la ordeña de la mañana y en la ordeña de la tarde.

3. Composición de leche: se obtuvieron dos sub-muestras diarias de leche, una en la ordeña de la mañana y otra en la ordeña de la tarde, las cuales en conjunto compusieron la muestra diaria de leche. Las muestras fueron refrigeradas de un día para otro y posteriormente fueron transportadas en frío hasta un servicio externo de análisis (Cooprinsem), el cual determinó el contenido (%) tanto de grasa como de proteína en la leche.

4. Condición corporal: se determinó en la sala de ordeña en forma visual, basándose en tablas de calificación específicas para vacas de lechería. Para esto se utilizó una escala de 1 a 5, en donde el número 1 denota un animal emaciado y el número 5 un animal obeso (Grigera y Bargo, 2005).

5. Peso vivo: se obtuvo a partir del promedio de tres días consecutivos de pesaje. El pesaje diario se realizó en forma posterior a la ordeña de la mañana en la sala de pesaje, mediante la balanza o romana.

5.3 Diseño experimental y análisis estadístico

5.3.1 Análisis de correlación

Para cuantificar el grado de asociación entre dos de las variables estudiadas se estimó el coeficiente de correlación lineal entre las dos variables aleatorias y una prueba estadística de hipótesis para el coeficiente de correlación (ρ).

Coeficiente de correlación lineal para las variables aleatorias x e y:

$$\rho = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X) \text{Var}(Y)}}$$

Donde $\text{Var}(x)$ y $\text{Var}(y)$ denotan las varianzas de X e Y respectivamente y $\text{Cov}(x,y)$ denota la covarianza entre x e y (Di Rienzo *et al.*, 2005).

Al ser ρ un parámetro, se estima a partir de observaciones muestrales. El coeficiente de correlación lineal muestral de Pearson “r” es el estimador de ρ .

Este estimador provee una medida muestral de la correlación entre x e y. Cuando ρ está en la proximidad de 1 o -1 los pares (x,y) se alinean sobre una recta con pendiente positiva o negativa según el signo del coeficiente. Cuando $\rho = 0$, los pares (x,y) están dispersos alrededor del punto (x,y) sin ninguna dirección predominante (Di Rienzo *et al.*, 2005).

La prueba de hipótesis busca probar la independencia entre x e y, probando la hipótesis $H_0: \rho = 0$ vs. $H_1: \rho \neq 0$, para esto el estadístico utilizado es:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}}$$

Esta presenta una distribución t de Student con $n-2$ grados de libertad, donde n es el número de pares (x,y). Luego se procede para la aceptación o rechazo de H_0 (Di Rienzo *et al.*, 2005).

Se calculó la correlación entre todos los pares de variables de interés en el estudio, sin embargo se seleccionó sólo las correlaciones estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) y con un valor mayor o igual a 0,5 para ser analizadas en mayor profundidad.

5.3.2 Análisis de regresión

Se realizó un análisis de regresión con el fin identificar un modelo operacional predictivo, que describa cómo varía la variable dependiente “y” (producción y composición leche), frente a cambios en las variables independientes “x” (pradera y variables ruminales).

La ecuación de la recta de regresión es:

$$y = \alpha + \beta x$$

Donde α es el intercepto o parámetro que representa la ordenada al origen de la recta (indica el valor esperado de y cuando $x=0$), y β es el parámetro que representa la pendiente de la recta (tasa de cambio de Y frente al cambio unitario de x).

Se llaman coeficientes de regresión muestral a los estimadores de α y β , los cuales se denotan como a y b respectivamente.

El modelo anterior incluye sólo una variable independiente y establece que la esperanza de Y cambia con tasa constante, según crece o decrece el valor de x (Di Rienzo *et al.*, 2005).

Una medida de la capacidad predictiva del modelo es el coeficiente de determinación (R^2), y se interpreta como la proporción de la variabilidad total en y explicable por la variación de x o, en otras palabras, es la proporción de la variabilidad total explicada por el modelo. El coeficiente de determinación varía entre 0 y 1, mientras más próximo esté a 1, mayor será el valor predictivo del modelo.

Se calcularon todas las ecuaciones de regresión lineal de interés que la selección de correlaciones “*a priori*” permitió. Una vez calculadas estas, se seleccionó aquella con un “ R^2 ” mayor o igual a 0,5 para ser analizadas en mayor profundidad.

Los análisis se realizaron con del software estadístico Minitab (Minitab® Statistical Software, versión 13).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Variables nutricionales de la pradera

6.1.1 Concentración de nutrientes en la pradera mesofítica

6.1.1.1 Proteína bruta

El contenido de proteína bruta en la pradera mesofítica (Figura 3), presentó un comportamiento caracterizado por dos periodos de aumento; el primero se observó a comienzos del estudio (semana IV de Enero a II de Febrero) con un posterior descenso durante las siguientes 4 semanas, y otro periodo de aumento a partir de mediados de Marzo, tras el cual el contenido de PB alcanzó su valor máximo de 24,9% (semana II de Abril).

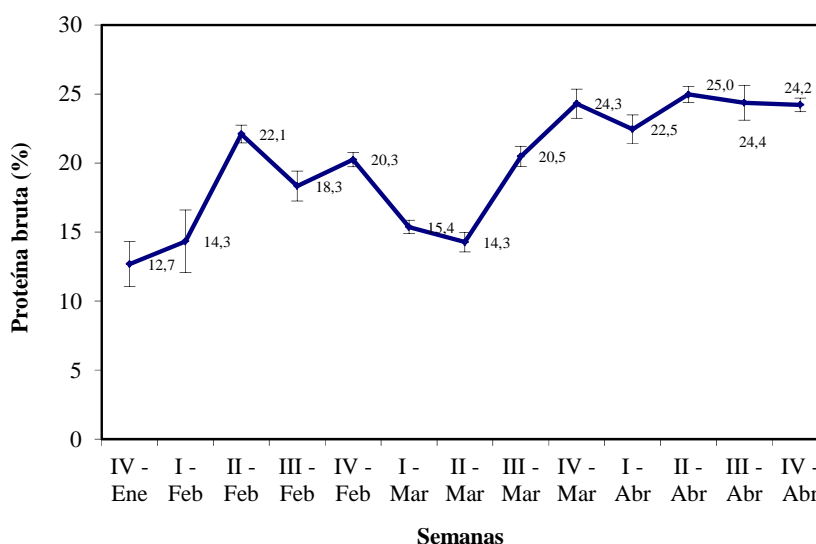


Figura 3. Variación del contenido de proteína bruta (%) en la pradera mesofítica, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

Estas variaciones ocurrieron como consecuencia de los cambios en el estado fenológico de la pradera mesofítica durante el periodo experimental, ya que durante el verano se presentaron escasas precipitaciones y altas temperaturas, observándose los menores valores de PB. Posteriormente, estos valores aumentaron en forma paulatina como consecuencia de la recuperación otoñal de la pradera, una vez reiniciadas las precipitaciones a comienzos de otoño (Cuevas *et al.*, 1983; Jacobs *et al.*, 1999; Parga, 2003; Anrique *et al.*, 2010).

Los promedios estacionales en la MS de la pradera mesofítica dentro del periodo experimental son de 17,2% de PB durante el periodo estival (semana IV de Enero a III de Marzo) y un promedio de 24,1% PB durante el periodo otoñal (semana IV de Marzo a IV de Abril).

Estos valores son similares a los descritos por Anrique *et al.* (2010) para praderas permanentes fertilizadas en la comuna de Osorno, quienes describieron un contenido de 18,4% de PB durante el periodo estival y un contenido de 24,2% durante el periodo otoñal. Estudios de Parga (2003) concuerdan con estos valores de PB para el periodo otoñal, sin embargo describe valores inferiores (12 a 15% de PB) para el estival, al igual que Klein (2001), quien indicó valores de 14,8% de PB para dicho periodo.

6.1.1.2 Fibra detergente neutro

El contenido de fibra detergente neutro en la pradera mesofítica (Figura 4) presentó un comportamiento muy variable durante el periodo experimental, a pesar de esto, se puede observar una tendencia al aumento durante la primera mitad del periodo, hasta alcanzar su valor máximo de 57,6% (semana II de Marzo), para posteriormente disminuir en forma sostenida durante la segunda mitad del periodo, alcanzando su valor mínimo de 41,5% a fines de abril (semana III de Abril).

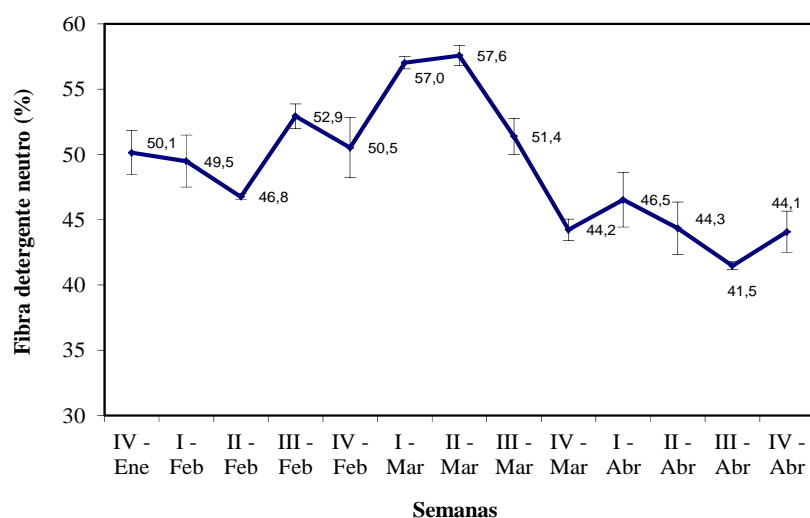


Figura 4. Variación del contenido de fibra detergente neutro (FDN) en la pradera mesofítica, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

Este comportamiento responde a cambios en el estado fenológico de la pradera mesofítica durante el periodo experimental. El contenido de FDN en la planta presenta un

comportamiento inverso al de la EM y la PB, alcanzando sus mayores concentraciones en verano, cuando la pradera esta constituida principalmente de plantas maduras, y menores concentraciones en invierno cuando existe principalmente materia vegetal nueva (Cubillos *et al.*, 1970; Jacobs *et al.*, 1999; Parga, 2003; Anrique *et al.*, 2010).

El promedio estacional del contenido de FDN de la pradera durante el periodo estival (semana IV de Enero a III de Marzo) fue de 52%, y para el periodo otoñal (semana IV de Marzo a IV de Abril) de 44,1%.

Estos valores concuerdan con los entregados por Parga (2003) para ambos periodos, los cuales variaron entre 50 y 60% para el periodo estival y entre 40 y 45% para el periodo otoñal. Además, los valores obtenido durante el periodo estival concuerdan con lo descrito por Klein (2001) (54,9%). Anrique *et al.* (2010) describieron valores muy similares para el periodo otoñal (44,2%), sin embargo los valores de FDN que describió para el periodo estival fueron inferiores (46,4%).

6.1.1.3 Energía metabolizable

El contenido de energía metabolizable de la pradera mesofítica (Figura 5) presentó un comportamiento relativamente uniforme durante el periodo experimental, con leves variaciones entre sus valores extremos de 10 y 11,1 MJ kg⁻¹ de materia seca.

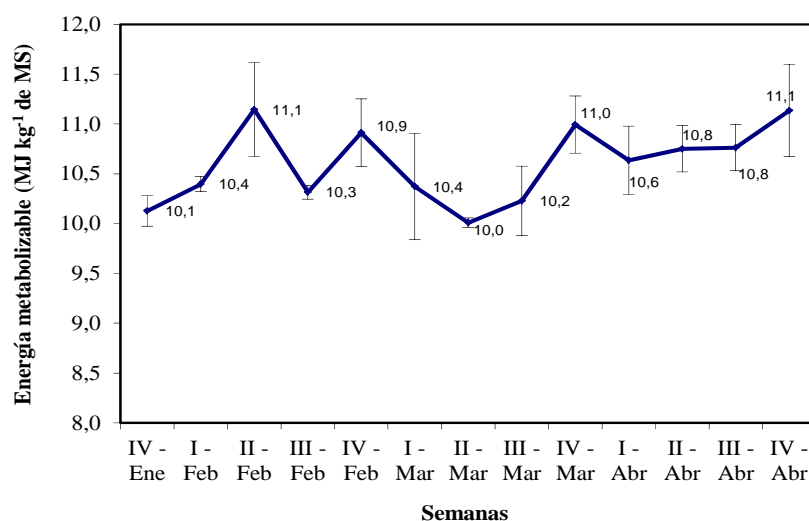


Figura 5. Variación del contenido de energía metabolizable (MJ kg⁻¹ de MS) en la pradera mesofítica, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

El contenido de EM en la MS varía levemente de una estación a otra (Anrique *et al.*, 2010), sin embargo logra sus menores valores a fines de verano cuando la pradera esta conformada principalmente de plantas maduras, posteriormente aumenta y se estabiliza en otoño, cuando la pradera se recupera y produce materia vegetal nueva (Cuevas *et al.*, 1983; Jacobs *et al.*, 1999; Klein, 2001; Parga, 2003; Anrique *et al.*, 2010).

Durante el estudio, el periodo estival (semana IV de Enero a III de Marzo) presentó un promedio de $10,4 \text{ MJ kg}^{-1}$ en la MS de la pradera mesofítica, y el periodo otoñal (semana IV de Marzo a IV de Abril) un promedio de $10,9 \text{ MJ kg}^{-1}$.

Tanto Klein (2001) como Parga (2003) concuerdan con los valores de EM entregados para el periodo estival de entre $9,2$ y $10,6 \text{ MJ kg}^{-1}$, y $10,78 \text{ MJ kg}^{-1}$, respectivamente. Sin embargo, Anrique *et al.* (2010) señalaron valores inferiores de EM para este periodo (12 MJ kg^{-1}).

Para el periodo otoñal, Parga (2003) y Anrique *et al.* (2010) informaron valores mayores de EM, de entre $11,3$ y $11,7 \text{ MJ kg}^{-1}$ en el primer caso, y de 12 MJ kg^{-1} en el segundo.

6.1.2 Degradabilidad de la materia seca y proteína cruda de la pradera mesofítica

6.1.2.1 Degradabilidad de la materia seca

Para este ensayo de degradabilidad no se consideró la primera semana del periodo experimental, ya que la muestra recolectada de la pradera mesofítica no fue suficiente para hacer esta determinación. Por lo tanto, los resultados obtenidos pertenecen a la semana I de Febrero a la semana IV de Abril (Apéndice I).

La degradabilidad de la MS, en términos generales presentó un comportamiento irregular durante el periodo estival, posteriormente tuvo un aumento progresivo una vez iniciado el periodo otoñal, alcanzando valores mayores hacia el final del periodo experimental. Esto ocurrió como consecuencia de la recuperación de la pradera, una vez iniciadas las precipitaciones otoñales, lo que fomentó el crecimiento de nueva materia vegetal.

Los parámetros de la degradabilidad (Figura 6) de la materia seca “a” y “b” presentaron un comportamiento variable a través del tiempo, en especial “b”, que corresponde a la fracción insoluble potencialmente degradable, ya que sufrió fuertes variaciones de una semana a otra, alcanzando valores extremos de 67,5% (semana I de Marzo) y 47,9% (semana II de Marzo).

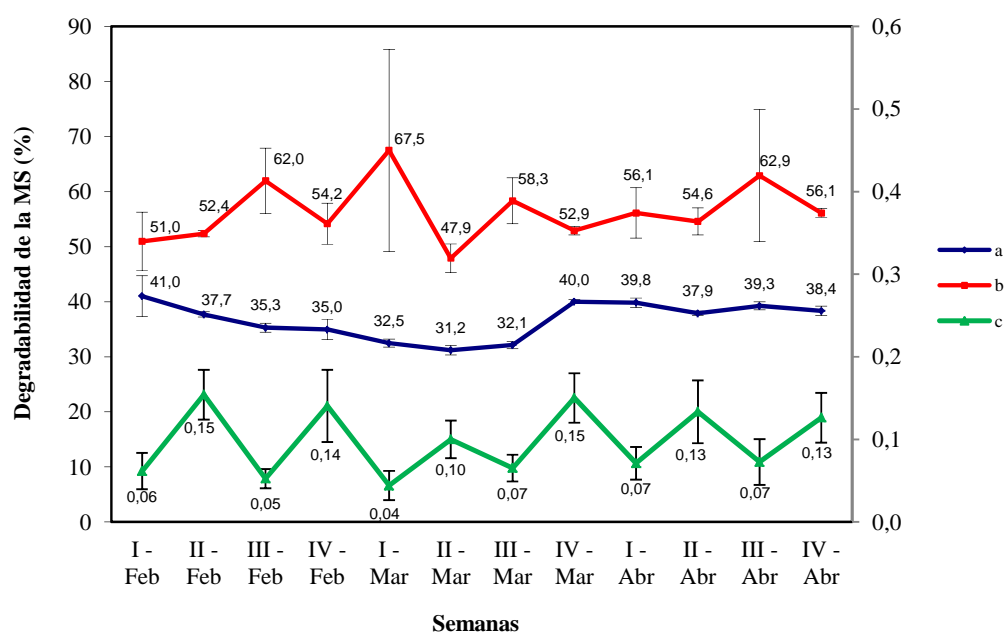


Figura 6. Variación de los parámetros de degradabilidad de la materia seca de la pradera mesofítica, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

El parámetro “a”, que corresponde a la fracción soluble, presentó una disminución sostenida en el tiempo hasta alcanzar sus menores valores (semana II de Marzo), luego mostró un marcado aumento en la 8ª semana para alcanzar un valor de 40%, y mantenerse relativamente estable hasta el final del periodo.

El parámetro “c”, que corresponde a la tasa o velocidad de degradación, porcentualmente presentó la mayor variabilidad en el tiempo dentro de los parámetros de degradabilidad, con valores extremos de 0,04 y 0,15 en la semana II de Marzo y I de Abril, respectivamente. Además, presentó un comportamiento similar al del parámetro “b”, con aumentos y descensos de una semana a otra.

Los mayores valores del parámetro “a” coincidieron con los mayores valores de PB (Figura 3) y menores de FDN (Figura 4) en la MS de la pradera mesofítica. Los valores mayores del parámetro “b”, por el contrario, coincidieron con los valores mayores de FDN y con los valores menores de PB.

Esto se debe a que el contenido celular está representado por la fracción “a” y la pared celular representado por la fracción “b”. De esta manera, el aumento en el contenido de FDN en la MS, se explica debido a un aumento de la proporción de la pared celular en

relación al contenido celular, como consecuencia de un mayor grado de madurez de la pradera durante el verano (Canseco *et al.*, 2007).

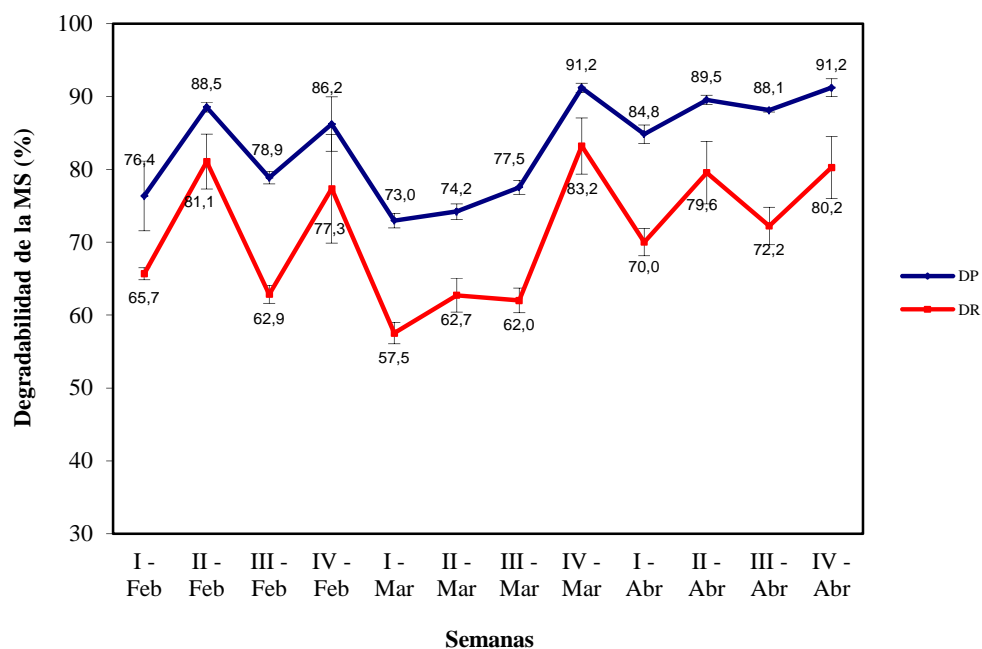


Figura 7. Variación de la degradabilidad potencial (DP) y real (DR) de la materia seca de la pradera mesofítica, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

La degradabilidad potencial (DP) y real (DR) de la materia seca (Figura 7) exhibieron un comportamiento similar a lo largo del periodo experimental, sin embargo, la DR mostró valores menores que la DP y fluctuaciones en el tiempo más notorias, ya que la degradabilidad real de la MS se obtiene al corregir la degradabilidad potencial por la tasa de pasaje del alimento a través del rumen. De esta manera, la DR presentó valores extremos de 57,5% (semana II de Marzo) y 83,2% (semana I de Abril).

Los valores menores de DR de la MS (semanas I a II de Marzo), se explican por el comportamiento que mostraron los parámetros de degradabilidad de la MS durante este periodo, en especial “a”, condicionados por el estado de madurez de la pradera mesofítica como se explicó anteriormente.

6.1.2.2 Degradabilidad de la proteína bruta

En este ensayo de degradabilidad de la PB se trabajó sólo con 4 semanas del periodo experimental, por motivos prácticos. Por lo tanto, los resultados obtenidos pertenecen a las semanas I de Febrero, I y IV de Marzo, y IV de Abril (Apéndice II).

Los parámetros de degradabilidad de la PB (Figura 8) “a” y “b” presentaron un comportamiento totalmente inverso durante el periodo experimental. El parámetro “a”, que corresponde a la fracción de proteína inmediatamente soluble en el rumen, mostró un aumento desde 23,8% en la semana I de Febrero, hasta un 34,7% en la semana IV de Marzo, para posteriormente descender hasta casi un 27,9% al final del periodo experimental.

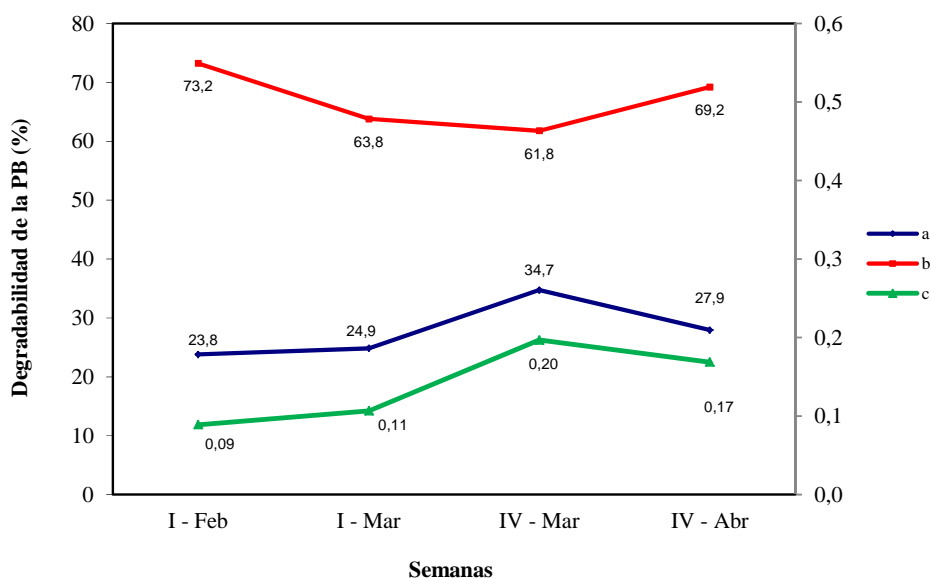


Figura 8. Variación de los parámetros de degradabilidad de la proteína bruta de la pradera mesofítica, durante el periodo experimental.

El parámetro “b”, que representa la fracción de proteína potencialmente degradable en el rumen, disminuyó desde un 73,2% en la semana I de Febrero, hasta un 61,8% en la semana IV de Marzo, para finalmente aumentar hasta un 69,2% en la última semana.

Por su parte, el parámetro “c” presentó un comportamiento similar al parámetro “a”, ya que la velocidad de degradación aumentó hasta la semana IV de Marzo, y posteriormente disminuyó en la última semana del estudio. Esto ocurrió como consecuencia del aumento de las fracciones solubles de la proteína bruta en la MS, acelerando el proceso de degradación total de la PB.

La degradabilidad potencial y real de la proteína bruta (Figura 9), presentaron un comportamiento similar durante el periodo experimental. Sin embargo, la tasa de pasaje del alimento desde el rumen aparentemente presentó un mayor efecto sobre la DR de la PB que sobre la DR de la MS, ya que esta alcanzó valores más extremos en relación a la DP de la PB.

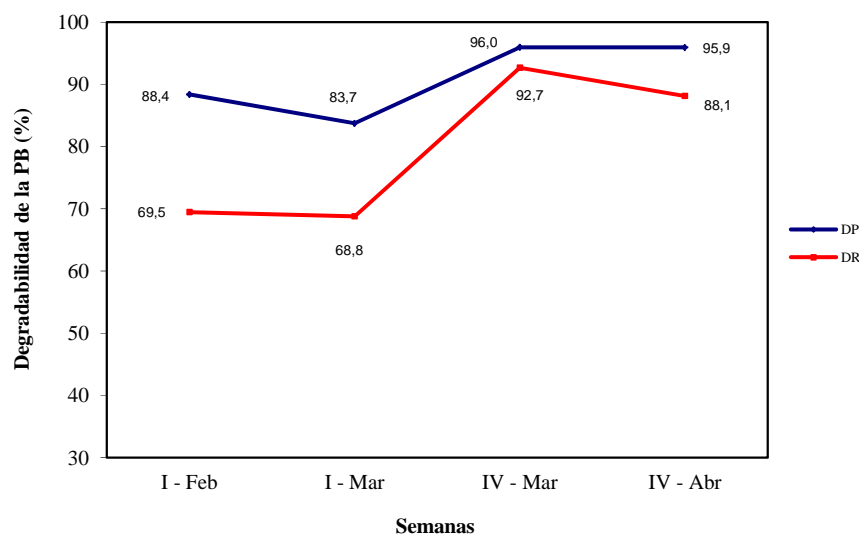


Figura 9. Variación de la degradabilidad potencial (DP) y real (DR) de la proteína bruta, durante el periodo experimental.

El aumento en la DP y DR de la PB hacia el final del periodo experimental se explica principalmente debido al repunte otoñal del crecimiento de la pradera a partir de fines de Marzo (Alamos, 2004), ya que significó un aporte de materia vegetal nueva con una mayor proporción de proteínas altamente solubles en el rumen. Esto se evidencia en que los valores de degradabilidad de la PB y del contenido de PB de la pradera (Figura 3), exhibieron un comportamiento similar a lo largo del estudio.

La DR de la PB, a diferencia de la DP de la PB, presentó una marcada disminución desde la semana IV de Marzo a la IV de Abril, a pesar de que la pradera presentó prácticamente un mismo contenido de PB (24,3% y 24,2%) y de FDN (44,2% y 44,1%) en dichas semanas. Este hecho responde a la disminución del parámetro “a” y aumento del parámetro “b” durante este lapso de tiempo (Figura 8), ya que probablemente el material vegetal alcanzó un mayor grado de desarrollo durante estas semanas, produciéndose un cambio en la solubilidad de sus componentes celulares.

6.2 Variables ruminales de vacas lecheras pastoreando la pradera mesofítica

6.2.1 pH ruminal

El pH en el licor ruminal (Figura 10) se mantuvo sobre 6,0 durante todo el estudio, con excepción de la semana IV de Enero, en la cual se presentó su mínimo de 5,6, para posteriormente aumentar en forma sostenida hasta la semana III de Febrero.

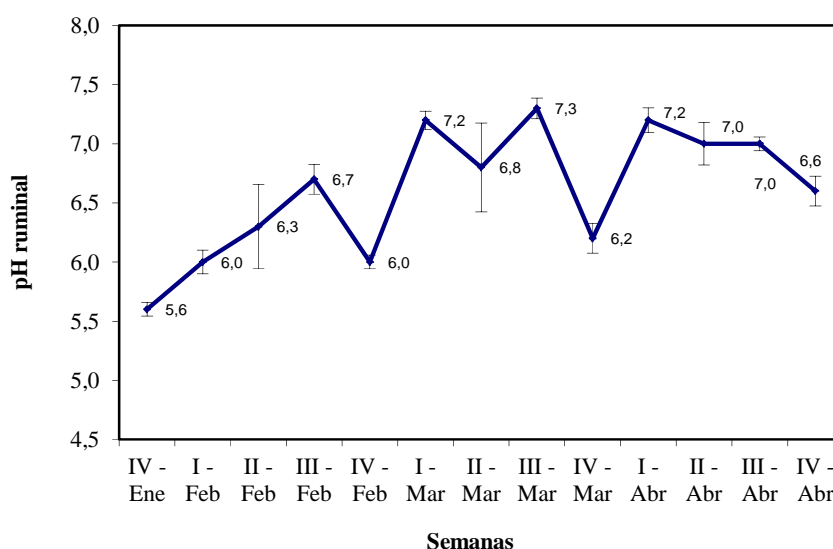


Figura 10. Variación del pH en el licor ruminal de vacas lecheras, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

Entre la semana IV de Febrero y I de Abril, el comportamiento del pH se hizo muy irregular de una semana a otra, alcanzando su valor máximo de 7,3 en la semana III de Marzo. Finalmente, descendió leve pero sostenidamente hasta el final del periodo.

Cómo señalaron Contreras *et al* (2010), en este tipo de dietas basadas únicamente en la pradera, el pH ruminal se vió elevado alcanzando valores de entre 6,2 y 6,8 la mayor parte del periodo experimental, además en otoño al presentarse una alta fermentación de los carbohidratos consumidos, se generaron pronunciadas variaciones en el pH ruminal.

A partir de la semana I de Marzo, se observan valores mayores de pH ruminal, lo que coincide con valores mayores de FDN en la MS (Figura 4), sin embargo hacia el final del periodo la FDN cae bruscamente, manteniéndose altos los valores de pH. Por su parte, la PB (Figura 3) presenta sus mayores valores a partir de la semana IV de Marzo hasta el

final del periodo experimental, por lo que no se observó una relación clara entre el comportamiento de esta variable y el pH ruminal.

Los valores de pH ruminal fueron mayores hacia la segunda mitad del periodo experimental, etapa en la cual el contenido de AGV en el rumen fue menor, haciéndose evidente la relación inversa entre pH y AGV descrita por Kolver y Veth (2002).

Según lo señalado por Wales *et al.* (2004) durante la mayor parte del periodo experimental los animales presentaron un pH óptimo (6,3 a 6,8) para digerir este tipo de forraje.

6.2.2 Amoníaco ruminal

El amoníaco ruminal (Figura 11) varió entre los 8,1 y 19,4 mg 100ml⁻¹ durante las primeras 8 semanas del estudio, tras lo cual presentó un marcado aumento, alcanzando valores sobre los 34 mg 100ml⁻¹ (semana IV de Marzo). Posteriormente, mostró una leve disminución durante dos semanas, para luego alcanzar su valor máximo de 44,6 mg 100 ml⁻¹ (semana III de Abril). Finalmente, presentó una nueva disminución, terminando el periodo experimental con un valor sobre los 39 mg 100 ml⁻¹.

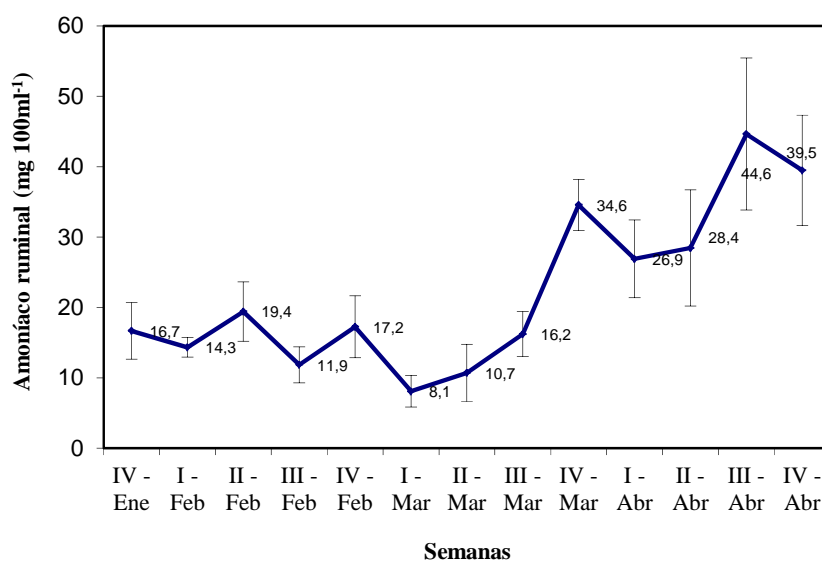


Figura 11. Variación del contenido de Amoníaco en licor ruminal (mg 100ml⁻¹) de vacas lecheras, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

Las variaciones observadas en la concentración de NH₃ en el licor ruminal se deben en gran medida a las variaciones presentadas por el contenido de PB (Figura 3) en la pradera

consumida, como consecuencia de cambios en su estado fenológico durante este periodo. De esta manera, ambas variables presentaron un comportamiento sumamente similar durante todo el periodo experimental. Sin embargo, a partir de la semana III de Marzo la concentración de NH_3 en el licor ruminal presentó un aumento más marcado que el presentado por el contenido de PB en la MS.

Este aumento en la concentración de amoníaco en el rumen probablemente se explique debido a que durante la segunda mitad del periodo experimental, el marcado aumento mostrado por el contenido de PB de la pradera (Figura 3) no ocurrió acompañado de un marcado aumento en el contenido de EM de la misma (Figura 5), produciéndose un desbalance entre la disponibilidad de EM en el rumen y la concentración de nitrógeno amoniacal para la síntesis de proteína microbiana, aumentando la concentración de amoníaco en el licor ruminal durante este periodo (Contreras *et al*, 2010).

6.2.3 Ácidos grasos volátiles

Dentro de los AGV presentes en el licor ruminal, se determinó el comportamiento de los tres principales; el ácido acético, el ácido propiónico y el ácido butírico (Figura 12).

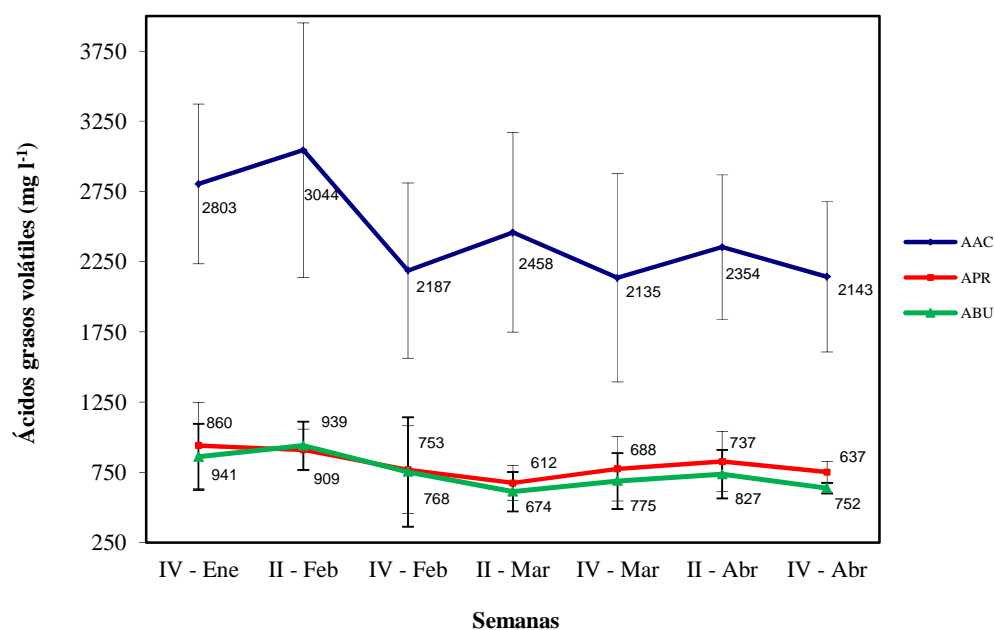


Figura 12. Variación de la concentración (mg l^{-1}) de Ácidos grasos volátiles en el licor ruminal de vacas lecheras, durante el periodo experimental: ácido acético (AAC), ácido propiónico (APR) y ácido butírico (ABU). Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

La concentración de ácido acético en el licor ruminal triplicó el de los demás AGV, presentando su valor máximo de 3044 mg l⁻¹ durante la semana II de Febrero, para posteriormente disminuir y permanecer entre 2135 y 2458 mg l⁻¹ hasta el final del periodo en estudio.

Los contenidos de ácido propiónico y de ácido butírico en el licor ruminal, presentaron un comportamiento muy similar entre sí, variando levemente de semana en semana, con valores extremos que fluctuaron entre los 612 y 940 mg l⁻¹.

En la primera mitad del periodo experimental, en donde el contenido de FDN alcanzó sus valores más altos, existió una mayor proporción de acetato ruminal que en la segunda mitad del periodo, en donde el contenido de PB y EM se hicieron máximos. Esto se debe a que en dietas ricas en fibra predominan en el rumen microorganismos celulolíticos y, por el contrario, en dietas ricas en CNE predominan microorganismos amilolíticos (Contreras *et al.* (2010). De esta manera, en la segunda mitad del periodo existió una mayor proporción de propionato en el rumen en comparación a la primera mitad del periodo.

Contreras *et al.* (2010) señalaron que el ácido acético en el licor ruminal para animales con este tipo de dietas debiese representar alrededor del 70% de los AGV totales producidos, sin embargo en este estudio representó solamente alrededor un 60%. A pesar de esto, se mantuvo la relación inversa que describen estos autores entre la concentración de ácido acético y de ácido propiónico en relación al total de los AGV producidos.

6.3 Variables productivas

6.3.1 Consumo de materia seca

El consumo de materia seca de la pradera mesofítica (Figura 13), expresado en g de MS por kg de peso metabólico (PV^{0,75}) por día, disminuyó a partir de la semana IV de Enero hasta la semana IV de Febrero, desde 164,2 g día⁻¹ a 124,4 g día⁻¹. En la semana I de Marzo, se observó un aumento en el consumo y posteriormente una marcada disminución, para estabilizarse en algo más de 100 g día⁻¹ hasta el fin del periodo experimental.

El consumo de materia seca, al haber sido estimada a partir de los requerimientos de EM de los animales y del contenido de EM en la pradera, muestra evidentes similitudes con el comportamiento de variables como la producción láctea de los animales y el cambio de peso de los mismos.

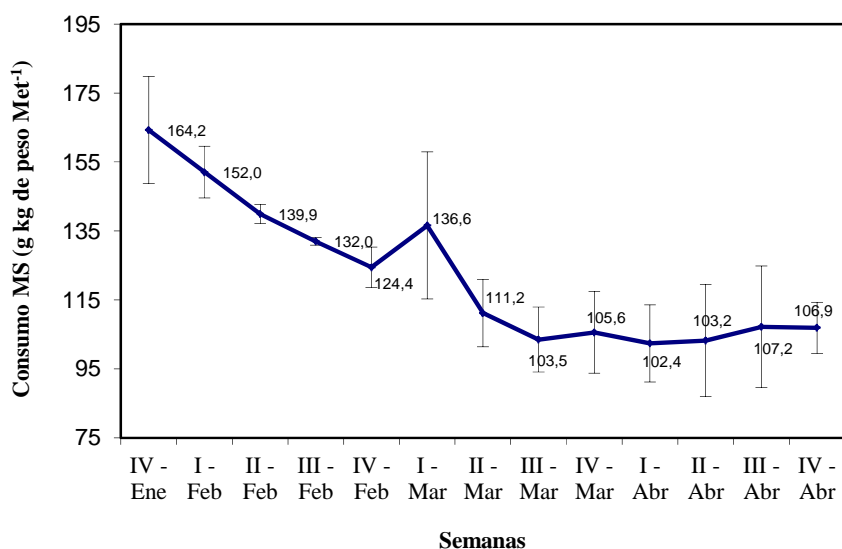


Figura 13. Variación del consumo diario de materia seca (CMS) de vacas lecheras, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

La marcada disminución observada en el consumo de MS, durante la primera mitad del periodo, puede ser explicada debido al alto contenido de FDN (Figura 4) que presentó la pradera mesofítica durante este periodo, ya que al ejercer un efecto físico a nivel ruminal esta es la principal limitante para el consumo de MS por parte de los animales (Canseco *et al.*, 2007).

6.3.2 Producción de leche

La producción de leche (Figura 14) presentó su valor máximo durante la primera semana del estudio (semana IV de Enero), con 30,3 l día⁻¹, posteriormente se observó un descenso sostenido hasta la semana III de Marzo, a partir de la cual la producción se estabilizó entre los 16,5 y 18,5 litros diarios hasta el final del periodo experimental.

La disminución sostenida en la producción de leche observada hasta la semana III de Marzo, se debió en parte a que la producción de MS de la pradera generalmente disminuye en forma constante hasta comienzos de otoño, cuando se reanudan las precipitaciones (Teuber y Dumont, 1996), lo que se traduce en una menor disponibilidad de MS para ser consumida por los animales. De esta manera, durante la primera mitad del periodo experimental el consumo de MS se vió marcadamente disminuido (Figura 13) y la calidad nutritiva de la pradera se vió fuertemente deteriorada, con valores descendientes de PB (Figura 3) y EM (Figura 5), y valores ascendentes de FDN en la MS (Figura 4).

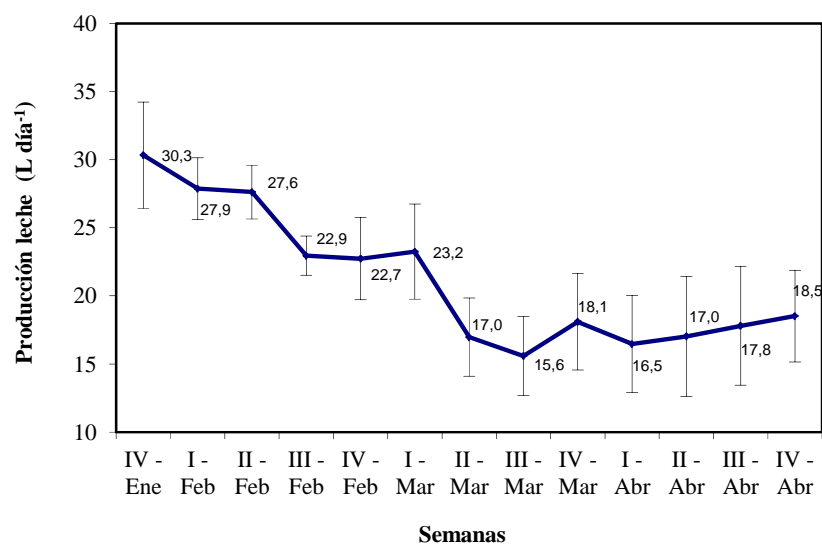


Figura 14. Variación de la Producción de leche (L día⁻¹) de vacas lecheras, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

De la misma forma, Contreras *et al.* (2010) señaló que al existir restricción en la oferta de este tipo de praderas, esta no es capaz de satisfacer los requerimientos de los animales para mantener mayores producciones.

Por otro lado, la disminución en la producción de leche también se debe en gran medida a la etapa de la curva de la lactancia en que estos animales se encontraban, ya que al final del periodo experimental faltaban alrededor de 30 días para el secado preparto de las vacas, etapa en la cual metabólicamente se ve disminuido el volumen de leche producido.

La posterior estabilización de la producción láctea se puede explicar debido a la recuperación de la pradera en términos de mayor contenido de PB y menor contenido de FDN, además de su constante contenido de EM. Esto favoreció la producción de ácido propiónico en el rumen, ya que este modela en términos de volumen la producción láctea, a través de la formación de las moléculas de lactosa en la leche (Dwain, 2004).

Estas producciones coinciden con la información entregada por Pérez *et al.* (2007), para los meses de marzo y abril, sin embargo son bastantes superiores para el mes de febrero.

6.3.3 Composición de leche

La composición de leche (Figura 15) durante la primera mitad del periodo se presentó altamente variable para la grasa láctea, pero relativamente estable para la proteína láctea, sin embargo ambas variables mostraron un comportamiento ascendente hacia el final del periodo en estudio.

La grasa láctea presentó un descenso en las semanas III y IV de Febrero, hasta $45,8 \text{ gr kg}^{-1}$ de leche, pero luego mostró un marcado aumento en la semana I de Marzo, con el cual alcanzó su valor máximo de $57,9 \text{ gr kg}^{-1}$ de leche. Posteriormente, presentó un nuevo descenso hasta la semana III de Marzo, para finalmente mantener un aumento progresivo hasta el final del periodo.

La proteína láctea varió levemente entre los valores extremos de $33,7 \text{ gr kg}^{-1}$ (semana III de Febrero) hasta los $40,8 \text{ gr kg}^{-1}$ de leche producida (semana IV de Abril), valor alcanzado durante la última semana del estudio.

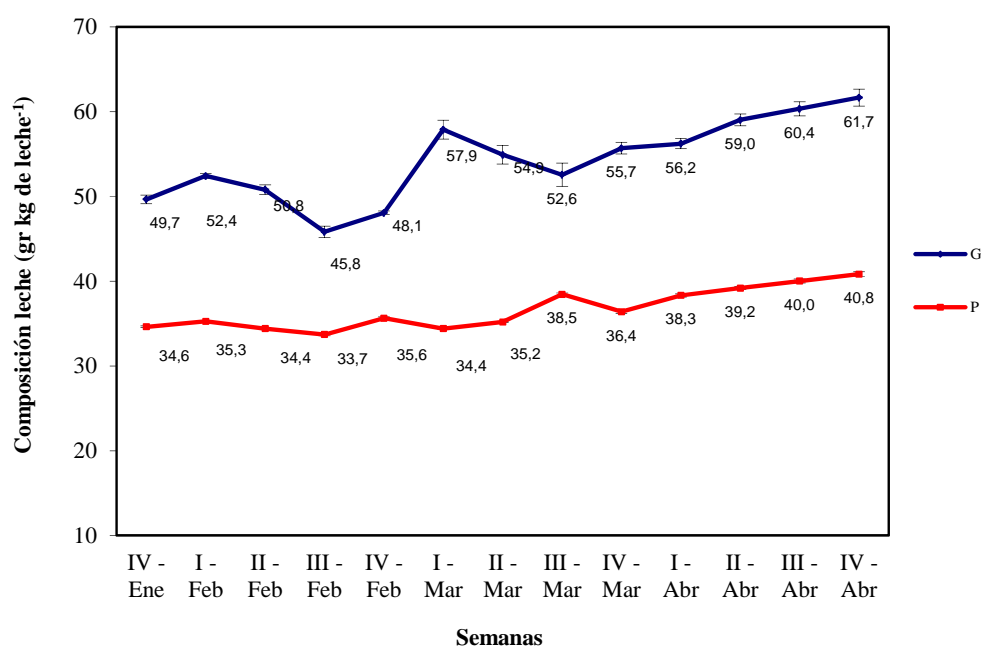


Figura 15. Variación de la composición de la leche ($\text{gr kg de leche}^{-1}$) en vacas lecheras, durante el periodo experimental: grasa (G) y proteína (P) láctea. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

Otra forma de expresar la variación que presentó la composición láctea durante este periodo, es la desviación de los promedios semanales en torno al promedio total del periodo experimental (Figura 16).

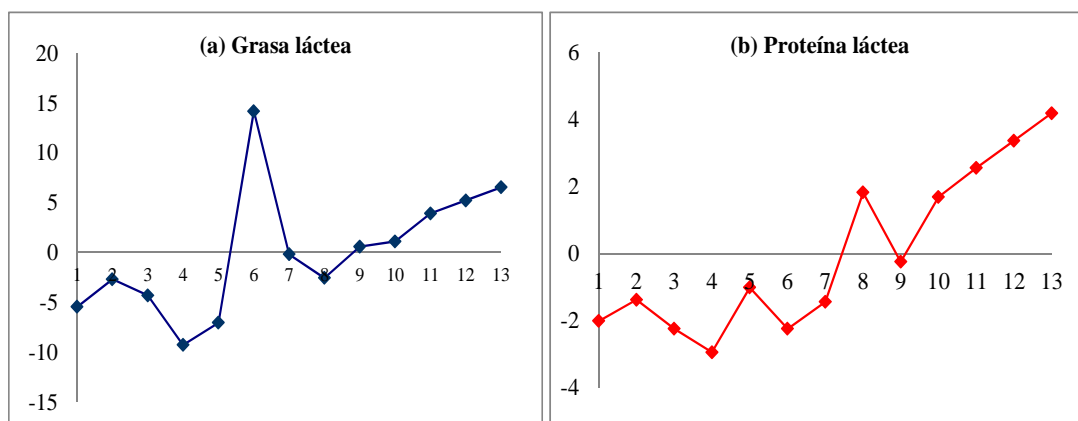


Figura 16. Desviación de los valores en torno al promedio del periodo, para la composición de la leche ($\text{gr kg de leche}^{-1}$) durante el periodo experimental: grasa y proteína láctea.

Como se puede observar en la Figura 16, durante la primera mitad del periodo, tanto la grasa (a) como la proteína (b) láctea se mantuvieron bajo el promedio total del periodo, salvo una excepción y, posteriormente se mantuvieron sobre el promedio total durante la segunda mitad del periodo.

Los AGV producidos en el rumen, especialmente el ácido acético, ejercieron una marcada influencia sobre la producción de grasa en la leche, como lo señaló Dwain (2004), la cual se mantuvo alta a lo largo de todo el estudio. Sin embargo, en términos porcentuales, la composición de la leche también se vio fuertemente influenciada por la etapa de la curva de lactancia de los animales, ya que al verse disminuido el volumen de leche producido, se produjo un aumento en el contenido de grasa y proteína láctea, como consecuencia de un efecto de concentración de los sólidos totales hacia el final de la lactancia (Swan, 1983).

6.3.4 Condición corporal

La condición corporal de las vacas lecheras (Figura 17) se mantuvo sobre 3,0 durante todo el periodo experimental, lo cual corresponde a una buena condición para animales en esta etapa final de la lactancia (Grigera y Bargo, 2005).

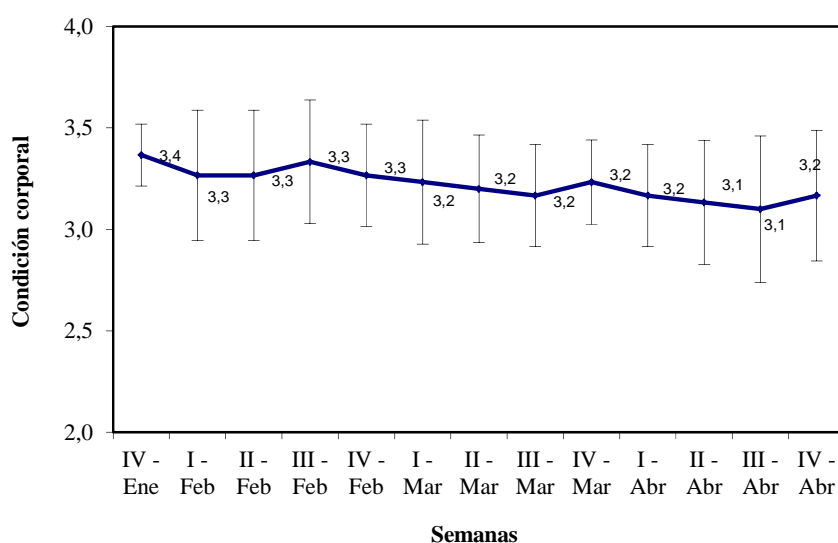


Figura 17. Variación de la Condición corporal (CC) de vacas lecheras, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

La CC alcanzó valores extremos de 3,4 (semana IV de Enero) y 3,1 (semanas II y III de Abril), por lo tanto se puede observar una inclinación a descender en el tiempo, a pesar de ser leve y con tendencia a la estabilización hacia el final del periodo.

Estas vacas, al encontrarse vacías (no estaban preñadas), no presentaron un aumento en sus requerimientos energéticos por sobre los de mantención y producción (AFRC, 1993). Sin embargo, la CC de estos animales presentó una disminución en el tiempo, probablemente como consecuencia de la utilización de parte de sus reservas corporales en la mantención de la lactancia, ya que el consumo de MS (Figura 13) se vió fuertemente disminuido en la primera mitad del periodo experimental.

A pesar de esto, al final del periodo experimental los animales se encontraban con una CC cercana a los 3,3, valor ideal al momento del secado (Grigera y Bargo, 2005).

6.3.5 Peso vivo

El peso vivo de las vacas (Figura 18) presentó un descenso sostenido en el tiempo a partir de la primera semana del periodo, cuando mostró su valor máximo de 596 kg., hasta la semana III de Marzo. Posteriormente, el comportamiento del PV de los animales se hizo mucho más estable en el tiempo, variando entre los 533 y 522 kg, siendo este último su valor mínimo, en la semana III de Abril.

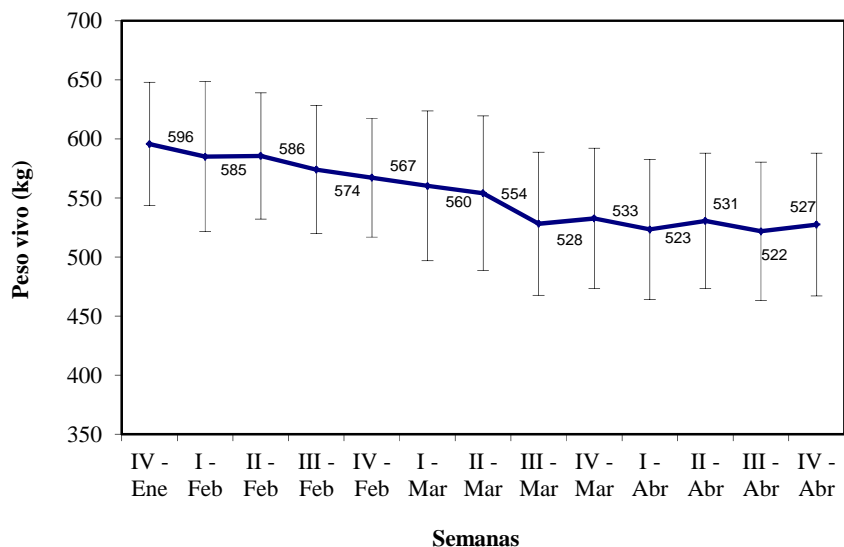


Figura 18. Variación del Peso vivo (kg) de vacas lecheras, durante el periodo experimental. Barras verticales sobre y bajo el valor promedio indican una desviación estándar.

Estas vacas, al no encontrarse preñadas, no presentaron el aumento de peso vivo característico en el tercer tercio de gestación (como consecuencia del peso del feto y del conceptus). Sin embargo, estos animales tampoco presentaron la recuperación del PV que generalmente presentan las vacas vacías, cuando los requerimientos energéticos de producción disminuyen hacia el final de la lactancia.

De esta forma, los cambios de peso vivo se explican únicamente debido a una diferencia entre el gasto energético de los animales y el aporte energético de la pradera que estos consumieron, ya que hasta la semana II y III de Marzo, la FDN se mantuvo alta (Figura 4), la PB baja (Figura 3) y la EM (Figura 5) relativamente constante, época hasta la cual tanto el consumo de MS (Figura 14) como el PV de los animales disminuyó en forma constante y marcada (Figura 18).

Posteriormente, el consumo de MS (Figura 13) y la producción láctea (Figura 14) se estabilizaron en el tiempo, permitiendo que el PV de los animales también lo hicieran, ya que ocurrió una recuperación otoñal de la pradera, aumentando su contenido de PB y disminuyendo el contenido de FDN.

6.4 Correlaciones entre las distintas variables

El método utilizado en este análisis de correlación fue el de Pearson, denotado por “r”, que determina el grado de dependencia lineal entre dos variables, y cuyo resultado se expresa mediante un índice adimensional (r) que varía entre -1 y 1.

Se estimó el coeficiente de correlación lineal entre dos variables aleatorias y una prueba estadística de hipótesis para el coeficiente de correlación (ρ) para todas las variables en estudio (Apéndices III y IV). Los resultados se presentan a continuación en cuadros que relacionan dos tipos de variables a través de todo el periodo experimental. Se consideró que los valores de “r” mayores a 0.5 indican una alta correlación entre las variables.

6.4.1 Correlaciones entre variables de la pradera mesofítica

Las variables de la pradera mesofítica consideran los resultados de los análisis químicos de la MS y del ensayo de degradabilidad de la misma. En términos generales, todos las variables están altamente correlacionados entre si (Cuadro 3), en especial las variables nutricionales (EM, PB y FDN) con la degradabilidad potencial y real de la pradera.

Cuadro 3. Correlaciones entre variables de la pradera mesofítica.

	EM	PB	FDN	a	b	c	DP	DR
EM	-	0,64**	-0,60**	0.60*	NS	0.73**	0.90**	0.91**
PB		-	-0.75**	NS	NS	NS	0.92**	0.78**
FDN			-	-0.81**	NS	NS	-0.89**	-0.78**
a				-	NS	NS	0.63*	0.59*
b					-	-0.60*	NS	NS
c						-	0.74**	0.89**
DP							-	0.95**
DR								-

* : Representa diferencia significativa ($P \leq 0,05$). **: Representa diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$). NS: P no fue significativo al 5% ($P > 0,05$). EM: energía metabolizable (MJ kg^{-1} de MS), PB: proteína bruta (%), FDN: fibra detergente neutro (%), a, b y c: parámetros de degradabilidad, DP: degradabilidad potencial de la MS (%). DR: degradabilidad real de la MS (%).

La degradabilidad potencial y real de la MS está asociada en forma positiva con la EM y la PB en la pradera, pero está asociada en forma negativa con la FDN, debido a que en las plantas la mayor parte de la EM y PB corresponde a fracciones solubles en el contenido celular, mientras que la FDN corresponde a fracciones insolubles, principalmente celulosa y hemicelulosa, con un rol estructural en las paredes celulares, las cuales presentan menor tasa de degradabilidad.

La EM y la PB a su vez, están correlacionadas en forma positiva, mientras que ambos se correlacionan en forma negativa con la FDN. Esto se debe al cambio en los componentes celulares de las plantas como consecuencia del avance en su estado fenológico, alterando la proporción entre su contenido celular y pared celular. De esta manera, el aumento de la FDN y disminución de la EM y PB se traducirá finalmente en una alteración en la composición química de las plantas.

La EM está correlacionada en forma positiva con el parámetro “a”, mientras que la FDN lo está en forma negativa y con un valor mayor y más significativo, ya que como se explicó anteriormente, la EM de la pradera sería aportada por las fracciones de mayor solubilidad en la célula vegetal y la FDN por las fracciones más insolubles de esta. Así, al aumentar el valor del parámetro “a” de la degradabilidad de la MS, aumentaría también el valor de la EM en la MS y disminuiría comparativamente la FDN en esta.

La EM está correlacionada en forma positiva con el parámetro “c”, ya que un aumento en la EM significa un aumento en la proporción de la fracción soluble de la MS, lo que favorecería la tasa o velocidad de degradación de la MS en el rumen.

El parámetro “a” está altamente correlacionado y en forma positiva con DP y DR, al igual que el parámetro “c”, sin embargo los valores de estas correlaciones son mayores para “c”. Estas asociaciones se explican ya que, en la medida que aumente “a”, la degradabilidad de la MS ocurrirá a una mayor tasa como se explicó anteriormente, pero además la degradabilidad total se verá favorecida, ya que también la proporción de la fracción soluble en la MS habría aumentado.

El parámetro “c” está altamente correlacionado y en forma negativa con el parámetro “b”, lo cual se explica debido al mayor tiempo que requiere la fracción insoluble y potencialmente degradable de la MS para ser degradada en el rumen.

DP y DR, están altamente correlacionados y en forma positiva, ya que la DR se calcula a partir de DP, corrigiéndola por la tasa de pasaje del alimento desde el rumen hacia el intestino.

6.4.2 Correlaciones entre variables ruminales

Dentro de las variables ruminales, el pH fue el único parámetro que no mostró correlación estadísticamente significativa con ninguna de las demás variables en estudio (Cuadro 4).

Las concentraciones de cada AGV en el licor ruminal (AAC, APR y ABU) están altamente correlacionadas y en forma positiva con los AGV totales (AT), ya que estos corresponden a la sumatoria de los primeros. Sin embargo, no existe una correlación estadísticamente significativa entre los porcentajes de cada AGV (PAAC, PAPR y PABU) y los AT.

Cuadro 4. Correlaciones entre variables ruminales.

	pH	AAC	APR	ABU	PAAC	PAPR	PABU	AT	NH ₃
pH	-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AAC		-	0.67**	0.77**	0.46*	-0.55**	NS	0.96**	-0.45*
APR			-	0.95**	NS	NS	NS	0.84**	NS
ABU				-	NS	NS	NS	0.91**	NS
PAAC					-	-0.96**	0.80**	NS	-0.46*
PAPR						-	-0.93**	NS	0.56**
PABU							-	NS	NS
AT								-	NS
NH ₃									-

*: Representa diferencia significativa ($P < 0,05$). **: Representa diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$). NS: P no fue significativo al 5% ($P > 0,05$). AAC: ácido acético (mg l^{-1}). APR: ácido propiónico (mg l^{-1}). ABU: ácido butírico (mg l^{-1}). PAAC: ácido acético/ AGV totales. PAPR: ácido propiónico/ AGV totales. PABU: ácido butírico / AGV totales. AT: AGV totales (mg l^{-1}). NH₃: amoníaco ruminal (mg 100 ml^{-1}).

Las variables AAC, APR y ABU están alta y positivamente correlacionados entre si, ya que al aumentar la producción total de AGV en el rumen aumenta la producción individual de cada uno de ellos.

El PAAC está correlacionado en forma positiva con la AAC, pero el valor de esta correlación es bajo. Por otra parte, el PAAC está altamente correlacionada en forma negativa con el PAPR y en forma positiva con el PABU. Esto se debe a que el porcentaje de ácido acético y del ácido butírico presentan un comportamiento inverso al del ácido propiónico, ya que a nivel ruminal los microorganismos responsables de su producción se desarrollan bajo distintas condiciones de pH. Cuando el pH se eleva por sobre lo normal, predominan los microorganismos celulolíticos (pH 6,0-6,9), responsables de la producción de acetato, mientras que cuando el pH disminuye predominan los microorganismos amilolíticos (pH 5,5-6,0), responsables de la producción de propionato (Contreras *et al.*, 2010). El butirato, por su parte, se forma en su mayoría a partir del ácido acético (Zavaleta de Lucio, 1976).

Así mismo, el PAPR esta alta e inversamente correlacionada con el AAC y con el PABU, ya que como se explicó anteriormente, esto se debe una variación en la proporción en que cada AGV está presente en el rumen. Al aumentar el AAC en el rumen se producirá una disminución en el porcentaje de ácido propiónico y un aumento en el porcentaje de ácido

butírico, debido a que la producción neta de APR se verá mermada al estar favorecida la producción de AAC y ABU.

El NH_3 presenta una correlación negativa con el AAC, sin embargo este grado de asociación es bajo. Esto se debe básicamente, a que un aumento neto en la producción de AAC responde a un aumento en la producción total de AGV en el rumen por parte de los microorganismos. Al existir suficiente energía para el crecimiento microbiano, estos serán capaces de captar el NH_3 liberado, haciendo que disminuya su concentración a nivel ruminal, y logrando una sincronía entre la degradación de hidratos de carbono y la degradación de proteína (Contreras *et al.*, 2010).

Por otra parte, el NH_3 presentó una baja correlación negativa con el PAAC, y una alta correlación positiva con el PAPR. Esto se explica, ya que el NH_3 es un producto de la degradación de proteínas en el rumen, por lo tanto un aumento en la concentración de este ocurriría como consecuencia de un aumento de la proteína presente en la dieta. Dietas ricas en PB producen una disminución del pH ruminal, ya que su degradación aporta cadenas carbonadas que favorecen la proliferación de bacterias amilolíticas en el rumen, responsables de la producción de ácido propiónico, lo que se tradujo en un aumento del PAPR y disminución del PAAC en el licor ruminal.

6.4.3 Correlaciones entre variables productivas

Las variables productivas presentaron una correlación altamente significativa entre ellas (Cuadro 5). Además, dentro de estas correlaciones, la mayoría alcanzó valores superiores a 0,5.

Cuadro 5. Correlaciones entre variables productivas.

	PLCE	CGR	CPR	PESO	CC
PLCE	-	-0,34*	-0,68**	0,71**	0,53**
CGR		-	0,43**	0,64**	-0,63**
CPR			-	0,59**	-0,44**
PESO				-	0,80**
CC					-

*: Representa diferencia significativa ($P < 0,05$). **: Representa diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$). NS: P no fue significativo al 5% ($P > 0,05$). PLCE: producción de leche corregida por energía y proteína (kg día^{-1}). CGR: contenido de grasa en leche (gr kg^{-1}). CPR: contenido de proteína en leche (gr kg^{-1}). PESO: peso vivo (kg). CC: condición corporal.

La PLCE se correlacionó en forma negativa con los sólidos lácteos, el nivel de asociación es bajo para la CGR, pero alto para la CPR. Esta correlación negativa se explica debido a los efectos de disolución y concentración que sufre la leche a lo largo de la lactancia, ya

que a medida que disminuye la producción de leche, los contenidos de grasa y proteína láctea se hacen máximos, y viceversa (Swan, 1983; Thompson, 1998).

Por el contrario, la PLCE está correlacionada en forma positiva con el peso y la CC de los animales, ya que por un lado, animales de mayor tamaño y mayor peso, producen individualmente más leche que animales más pequeños. Por otro lado, animales que presentan una mayor CC, se encuentran en un mejor estado fisiológico para la producción láctea.

De esta manera, durante el periodo experimental los animales utilizaron la energía consumida de la pradera en mayor medida para la producción láctea y, en caso de haber sido esta insuficiente, mantuvieron temporalmente la producción de leche mediante la movilización de sus reservas corporales, lo que explicaría la tendencia a la baja de la CC (Figura 17) de los animales durante este periodo.

Salgado *et al.* (2008), realizaron un trabajo similar a este estudio, con animales doble propósito en una etapa menos avanzada de la lactancia, en el cual obtuvieron una correlación muy similar entre la PLCE y el peso de los animales. Para la PLCE y la CC obtuvieron una correlación positiva, pero mayor.

La CGR y la CPR están correlacionados en forma positiva, pero el valor de esta correlación es bajo. La grasa y proteína láctea presentan un comportamiento muy similar durante el periodo experimental (Figura 16), por lo tanto se mantiene estable la proporción entre estas dos variables a través del tiempo. Esto concuerda con Thompson (1998), quien señala que existe una correlación positiva entre estas dos variables y, además indica que en un rebaño existe una relación grasa/proteína relativamente estable en el tiempo.

El CGR y el CPR están alta y positivamente correlacionados con el peso vivo de los animales. La concentración de sólidos en la leche aumenta hacia el final de la lactancia (Figura 16), cuando los requerimientos energéticos del animal han disminuido y, por lo tanto cuando logra recuperar parte del peso vivo perdido a comienzos de la lactancia.

El CGR y CPR están correlacionados negativamente con la CC. En el caso de la grasa láctea el grado de asociación es alto, pero en el caso de la proteína láctea, es bajo. Esto debe principalmente, a que al aumentar la producción de sólidos lácteos por kg de leche, el animal aumentará sus requerimientos energéticos, y si la energía aportada en la dieta no es suficiente para satisfacerlos, la CC de los animales se verá paulatinamente perjudicada.

El peso y la CC están alta y positivamente correlacionados entre sí, ya que a pesar de ser la CC un indicador de las reservas corporales del animal, independientemente de su

estructura, peso vivo y tamaño, un animal que aumente de peso inevitablemente va a mejorar su CC. Esto concuerda con lo señalado por Salgado *et al.* (2008).

6.4.4 Correlaciones entre variables de la pradera y variables ruminales

La correlación entre las variables de la pradera y las variables ruminales (Cuadro 6), constituye una herramienta sumamente útil en términos de manejo, ya que al ser el rumen un sistema cerrado e interno en el animal, no es sencillo monitorearlo con fines productivos.

Como se observa en el Cuadro 6, las variables nutricionales de la pradera (EM, PB y FDN) no presentaron correlación estadísticamente significativa con el pH ruminal ni con los AGV, al igual que el parámetro “a” de la degradabilidad. La degradabilidad potencial y real de la MS no presentó correlación estadísticamente significativa con el pH ruminal ni con los AGV, a excepción del PAAC.

Cuadro 6. Correlaciones entre variables de la pradera y variables ruminales.

	pH	AAC	APR	ABU	PAAC	PAPR	PABU	AT	NH ₃
EM	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.47**
PB	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.71**
FDN	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0.80**
a	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.64*
b	NS	NS	NS	NS	-0.83*	0.82*	NS	NS	NS
c	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.85*	NS	NS
DP	NS	NS	NS	NS	-0.83*	NS	NS	NS	0.81**
DR	NS	NS	NS	NS	-0.83*	NS	NS	NS	0.66*

*: Representa diferencia significativa ($P < 0,05$). **: Representa diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$). NS: P no fue significativo al 5% ($P > 0,05$). AAC: ácido acético (mg l^{-1}). APR: ácido propiónico (mg l^{-1}). ABU: ácido butírico (mg l^{-1}). PAAC: ácido acético/ AGV totales. PAPR: ácido propiónico/ AGV totales. PABU: ácido butírico / AGV totales. AT: AGV totales (mg l^{-1}). NH₃: amoníaco ruminal ($\text{mg } 100 \text{ ml}^{-1}$). EM: energía metabolizable (MJ kg MS^{-1}). PB: proteína bruta (%). FDN: fibra detergente neutro (%). a, b y c: parámetro de degradabilidad. DP: degradabilidad potencial de la MS (%). DR: degradabilidad real de la MS (%).

La falta de significancia estadística en las correlaciones entre la FDN y el pH, y entre la FDN y el ACC, llaman especialmente la atención en este estudio, ya que es clara y conocida la relación positiva entre estas variables. Por una parte, existe una marcada influencia del contenido de fibra en la pradera, sobre la capacidad de rumia de los animales, y por consiguiente sobre la mantención del pH ruminal. Por otra parte, la fermentación de la fibra que realizan los M.O. celulolíticos determina la producción de ácido acético en el rumen, y por lo tanto la concentración de este en el licor ruminal.

El NH_3 está correlacionado en forma positiva con la EM, pero el grado de asociación es bajo. Sin embargo, está altamente correlacionado en forma positiva con la PB y en forma negativa con la FDN. Esto se debe, a que al aumentar el contenido de PB de la pradera, se produce un aumento en la proteína degradable en el rumen, la cual debe ser degradada a amoníaco, ya que no existió la cantidad necesaria de energía y de cadenas carbonadas para captar este exceso de NH_3 (Contreras *et al.*, 2010), por lo tanto aumenta la concentración del NH_3 en el licor ruminal. Así, un aumento de la PB en la MS significa un aumento de la EM y una disminución de la FDN dentro de la masa vegetal, como se explicó anteriormente (Cuadro 3).

Las variables de degradabilidad no están correlacionadas con las concentraciones de AGV, sin embargo, “b” está altamente correlacionado en forma negativa con el porcentaje de acetato (PAAC) y en forma positiva con el porcentaje de propionato (PAPR). Esto se explica debido a la distinta degradabilidad que presentan los carbohidratos (CHOs) en el rumen. Dentro de la fracción potencialmente degradable de la célula vegetal, se encuentran almidones y partes degradables de la pared celular, los cuales corresponden al parámetro “b” de la degradabilidad de la MS.

De esta manera, al aumentar el valor del parámetro “b”, existirá una mayor cantidad de almidones para ser fermentados por las bacterias amilolíticas, y aumentará la producción de ácido propiónico en relación a la producción de ácido acético, como se explicó anteriormente (Cuadro 4). Esto se traducirá finalmente, en un aumento del PAPR y una disminución del PAAC, ya que se verá alterada la relación Ac. Acético/Ac. Propiónico en el rumen.

Por otra parte, el parámetro “c” está altamente correlacionado y en forma positiva con el PABU, ya que este corresponde a la constante para la tasa de degradación, por lo tanto si “c” aumenta, será como consecuencia de un aumento de las fracciones solubles y degradables de la MS, los cuales serán sustratos para que las bacterias ruminales produzcan ácido butírico.

El parámetro “a” está altamente correlacionado y en forma positiva con el NH_3 , debido a que la PB, que en exceso da origen a la producción de NH_3 ruminal, forma parte de la fracción soluble e inmediatamente degradable de la MS, denominada “a”, por lo tanto al aumentar la PB en la pradera, aumentará también este parámetro y consecuentemente la concentración de NH_3 ruminal.

La degradabilidad potencial y real de la MS está alta y negativamente correlacionada con el PAAC, debido a que la producción de ácido acético está sujeta a un mayor contenido de

fibra en la MS, la cual es de muy lenta degradabilidad. Es así entonces, que al aumentar la degradabilidad de la MS, el PAAC se ve disminuido en el rumen.

Por otra parte, la DP y DR están altamente correlacionadas con el NH₃ ruminal, y esta correlación es positiva, ya que en la medida que la degradabilidad de la MS sea mayor, existirá una mayor cantidad de proteína degradable en el rumen, correspondiente a la fracción soluble, lo que aumentará la concentración de NH₃ ruminal, como se explicó anteriormente.

6.4.5 Correlaciones entre variables ruminales y variables productivas

Las variables ruminales son una consecuencia directa de la dieta que los animales consumen, por lo tanto su asociación con las variables productivas será clave para el sistema productivo.

Dentro de las variables ruminales, sólo el pH, el porcentaje de cada AGV (PAAC, PABR y PABU) y el NH₃ presentaron algún tipo de correlación estadísticamente significativa con las variables productivas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Correlaciones entre variables productivas y variables ruminales.

	pH	AAC	APR	ABU	PAAC	PAPR	PABU	AT	NH ₃
PLCE	-0.60**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0.43**
CGR	0.32*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CPR	0.35**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.71**
PESO	NS	NS	NS	NS	0.56**	-0.62**	NS	NS	-0.49**
CC	NS	NS	NS	NS	0.64**	-0.66**	-0.55**	NS	-0.37*

*: Representa diferencia significativa ($P < 0,05$). **: Representa diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$). NS: P no fue significativo al 5% ($P > 0,05$). AAC: ácido acético (mg l^{-1}). APR: ácido propiónico (mg l^{-1}). ABU: ácido butírico (mg l^{-1}). PAAC: ácido acético/ AGV totales. PAPR: ácido propiónico/ AGV totales. PABU: ácido butírico / AGV totales. AT: AGV totales (mg l^{-1}). NH₃: amoníaco ruminal (mg 100 ml^{-1}). PLCE: producción de leche corregida por energía y proteína (kg día^{-1}). CGR: contenido de grasa en leche (gr kg^{-1}). CPR: contenido de proteína en leche (gr kg^{-1}). PESO: peso vivo (kg). CC: condición corporal.

La PLCE está correlacionada en forma negativa con el pH ruminal, tal como lo señalaron Kolver y Veth (2002), sin embargo estos autores informaron un valor mayor para “r”, que el obtenido en este estudio. El pH ruminal es una condición altamente dinámica, ya que está determinado, principalmente por el equilibrio entre la tasa de producción y remoción de AGV en el rumen (Contreras *et al.*, 2010), además de la rumia de los alimentos. Por lo tanto, existe una correlación negativa entre la producción de AGV y el pH ruminal (Kolver y Veth, 2002).

En este estudio, la relación inversa entre el pH ruminal y la PLCE se explica, debido a la disminución observada en la concentración ruminal de ácidos grasos volátiles (Figura 12) y al aumento en los valores de pH ruminal (Figura 10), especialmente durante la segunda mitad del periodo experimental, cuando la producción de leche (Figura 14) alcanzó sus menores valores, estabilizándose en el tiempo junto con la producción de AGV.

La PLCE está correlacionada en forma negativa con el NH_3 , a pesar de presentar un grado de asociación bajo, esta es una correlación importante para los sistemas productivos pastoriles, ya que cuando aumenta la concentración de NH_3 en el rumen, un compuesto neurotóxico para el animal, este debe ser absorbido y transportado vía porta al hígado para ser metabolizado a urea, la cual posteriormente es eliminada a través de la orina y leche, o es reciclada a través de la saliva y la pared ruminal (Annison *et al.*, 1999). Este proceso hace que el animal incurra en un gasto energético adicional (Correa y Cuéllar, 2004), en lugar de destinar esa energía a la producción de leche, por lo tanto al aumentar las concentraciones de NH_3 en el rumen, la producción de leche se puede ver disminuida (Cuadro 7).

El contenido de grasa y proteína láctea están correlacionados en forma positiva con el pH ruminal, sin embargo este grado de asociación es bajo. Kolver y Veth (2002), señalaron que el grado de asociación entre el CGR y el pH ruminal es igualmente positivo, pero mayor al obtenido en este estudio.

El NH_3 presenta una alta correlación sólo con el CPR, la cual es positiva. En condiciones normales, el NH_3 es utilizado para sintetizar al menos un 70% de la proteína microbiana (Webster, 1993, citado por Hein 2005), la cual aporta más del 50%, generalmente hasta tres cuartos, de los aminoácidos que son absorbidos por los rumiantes a nivel intestinal (AFRC, 1993). Estos aminoácidos son utilizados por el animal para sintetizar la proteína láctea, por lo tanto un aumento en la concentración ruminal de NH_3 , dentro de las capacidades energéticas de los MO, provocará un aumento del CPR.

El peso y la CC de los animales están altamente correlacionados en forma positiva con el PAAC y en forma negativa con el PAPR, sin embargo sólo la CC de los animales está altamente correlacionado en forma negativa con el PABU. Esto se debe básicamente, a que el ácido acético abandona el hígado prácticamente intacto para ser utilizado por los tejidos extra hepáticos, ya sea oxidándose en el ciclo de Krebs, formando ácidos grasos en el tejido adiposo (aumento de peso), o como precursor de la grasa láctea en la glándula mamaria. Por el contrario, el ácido propiónico participa en la gluconeogénesis hepática, formando glucosa que es rápidamente utilizada en procesos específicos, al igual que el

ácido butírico, que es utilizado prácticamente por completo en el metabolismo del epitelio ruminal (Zavaleta de Lucio, 1976).

6.4.6 Correlaciones entre variables de la pradera y variables productivas

La correlación entre las variables de la pradera y las variables productivas son de especial importancia práctica, ya que estos representan el comienzo y el final de todo sistema productivo.

En general, las variables de la pradera presentaron pocas correlaciones significativas con las variables productivas, en especial la EM, las variables de degradabilidad y la degradabilidad real y potencial de la materia seca, que no presentaron ninguna correlación estadísticamente significativa con las demás variables (Cuadro 8).

Cuadro 8. Correlaciones entre variables de la pradera y variables productivas.

	PLCE	CGR	CPR	PESO	CC
EM	NS	NS	NS	NS	NS
PB	-0.53**	NS	0.61**	-0.38*	NS
FDN	NS	NS	-0.56**	NS	NS
a	NS	NS	NS	NS	NS
b	NS	NS	NS	NS	NS
c	NS	NS	NS	NS	NS
DP	NS	NS	NS	NS	NS
DR	NS	NS	NS	NS	NS

*: Representa diferencia significativa ($P < 0,05$). **: Representa diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$). NS: P no fue significativo al 5% ($P > 0,05$). PLCE: producción de leche corregida por energía y proteína (kg día^{-1}). CGR: contenido de grasa en leche (gr kg^{-1}). CPR: contenido de proteína en leche (gr kg^{-1}). PESO: peso vivo (kg). CC: condición corporal. EM: energía metabolizable (MJ kg MS^{-1}). PB: proteína bruta (%). FDN: fibra detergente neutro (%). a, b y c: parámetro de degradabilidad. DP: degradabilidad potencial de la MS (%). DR: degradabilidad real de la MS (%).

La falta de significancia estadística en las correlaciones entre la EM y la PLCE, y entre la EM y el peso y la CC de los animales llaman especialmente la atención en este estudio, debido a la directa relación que existe entre el aporte energético de la dieta y estas variables. Probablemente, esta relación no fue estadísticamente evidente en este estudio, debido a que los animales se encontraban en la etapa final de la lactancia, en la cual disminuye marcadamente la producción de leche independiente del contenido de EM de la dieta (fines de verano y comienzos de otoño), y en la cual la calidad nutritiva de la pradera no permitió que los animales alcanzaran a aumentar de peso ni mejoraran su condición corporal.

La PLCE esta alta y negativamente correlacionada con la PB, ya que la proteína degradable en el rumen es transformada a amoníaco y ácidos grasos mediante una lisis bacteriana. El NH_3 producido puede ser utilizado en la síntesis de proteína microbiana, si existe la cantidad de energía disponible necesaria para este proceso. De lo contrario, aumenta la concentración de NH_3 ruminal, como se explicó anteriormente (Cuadro 7), y el animal incurre en un gasto energético adicional para detoxificar el NH_3 a urea, en desmedro de la producción láctea.

El CPR está altamente correlacionado en forma positiva con el contenido de PB en la pradera y en forma negativa con el contenido de FDN de la pradera, estas diferentes asociaciones se deben a que la PB y la FDN presentan un comportamiento inverso en la MS, como se explicó anteriormente (Cuadro 3).

El contenido de proteína en la leche es difícil de alterar, ya que depende del consumo de energía y del tipo de proteína que esté siendo consumida por el animal (Dwain, 2004), además de estar siempre modelado por el potencial genético de los animales, lo cual es inalterable. La síntesis de proteína láctea, depende en gran medida de la cantidad de proteína presente en la dieta que logre abandonar el rumen sin ser degradada y de la proteína microbiana (Correa y Cuéllar, 2004), por lo tanto al aumentar el contenido de PB en la MS aumentarán también el CPR.

El peso presentó una baja correlación con la PB de la pradera, y no presentó correlación estadísticamente significativa con el EM de esta. La asociación negativa con la PB se puede explicar, a través del gasto energético adicional que podría significar para el animal un exceso de PB sobre las capacidades de los microorganismos ruminales, como se explicó anteriormente.

7. Regresiones

Las ecuaciones de regresión lineal se calcularon considerando las correlaciones estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) de interés para este estudio (Apéndice V), de las cuales se seleccionó aquellas en que la proporción de la variabilidad total fue explicada en más de un 50% por el modelo predictivo ($R^2 > 0,5$).

El valor de n es de 12 para las variables de degradabilidad de la MS, ya que estas se calcularon a partir de promedios semanales desde la semana 2 a la 13 del periodo experimental, mientras que en las demás variables el n es de 39, ya que estas se calcularon a partir de tres observaciones semanales durante las 13 semanas del periodo experimental.

La pendiente de la recta calculada, depende de si el valor de la correlación entre las variables fue positivo o negativo. Por su parte, el valor del intercepto indica el valor que toma la variable dependiente, cuando la variable independiente se hace cero.

La utilización de estas ecuaciones con fines predictivos está sujeto a trabajar con el mismo tipo animales y de sistema productivo. Además es importante considerar la zona agroecológica, época del año y la etapa de la lactancia en que se encontraban los animales, ya que de todo esto dependerá el grado de precisión que se obtenga.

7.1 Regresión entre la EM de la pradera y la DP de la MS

La regresión de la degradabilidad potencial de la MS sobre el contenido de EM en esta, se presenta en la Figura 19.

Esta es una recta de pendiente positiva muy marcada, con un buen ajuste de los datos. La capacidad predictiva del modelo es de un 80%; tanto el intercepto con la ordenada, como la pendiente son muy significativos ($P < 0,01$).

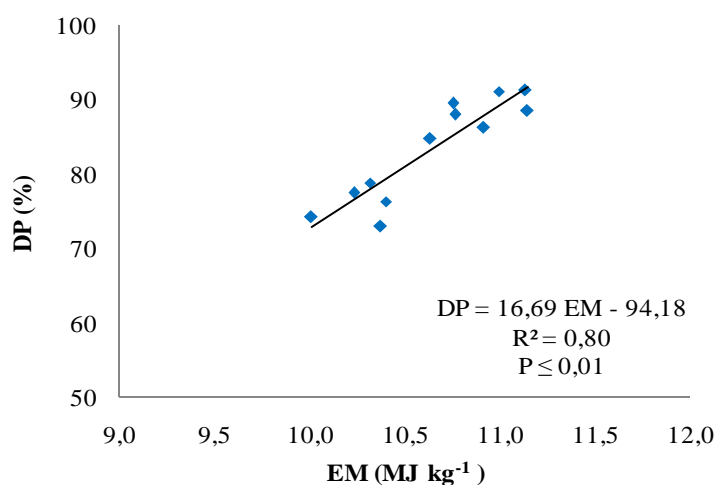


Figura 19. Regresión entre la concentración de energía metabolizable (EM) y la degradabilidad potencial (DP) de la MS de la pradera mesofítica.

La capacidad predictiva de esta regresión es alta, ya que un 20% de la variabilidad total de la degradabilidad potencial de la MS no es explicada por la variación en el contenido de EM de la pradera, y debe ser atribuido a otras causas.

7.2 Regresión entre la PB de la pradera y la DP de la MS

La regresión de la degradabilidad potencial de la MS, sobre el contenido de PB en esta, se presenta en la Figura 20.

Esta es una recta de pendiente positiva bastante marcada, con un buen ajuste de datos. La capacidad predictiva del modelo es de un 83%; tanto el intercepto con la ordenada, como la pendiente son muy significativos ($P < 0,01$).

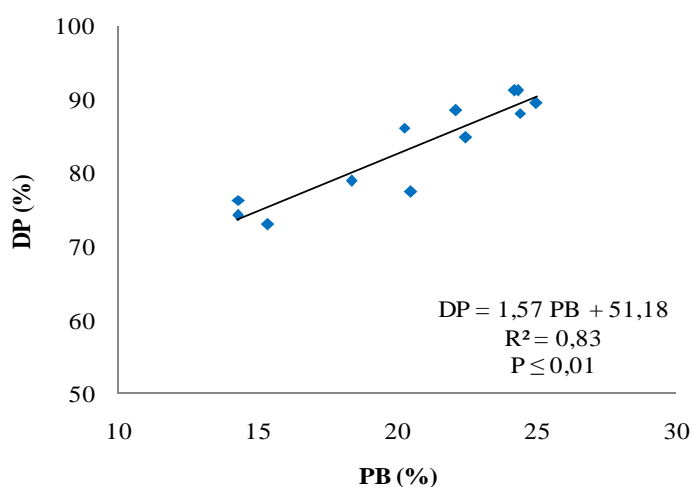


Figura 20. Regresión entre la concentración de proteína bruta (PB) y la degradabilidad potencial (DP) de la MS de la pradera mesofítica.

La capacidad predictiva de esta regresión es muy alta, ya que menos de un 17% de la variabilidad total de la degradabilidad potencial de la MS no es explicada por la variación en el contenido de PB de la pradera, y debe ser atribuido a otras causas.

7.3 Regresión entre la FDN de la pradera y la DP de la MS

La regresión de la degradabilidad potencial de la MS, sobre el contenido de FDN en esta, se presenta en la Figura 21.

Esta es una recta de pendiente negativa bastante marcada, con un buen ajuste de los datos, y la capacidad predictiva del modelo es de un 77%; tanto el intercepto con la ordenada, como la pendiente son muy significativos ($P < 0,01$).

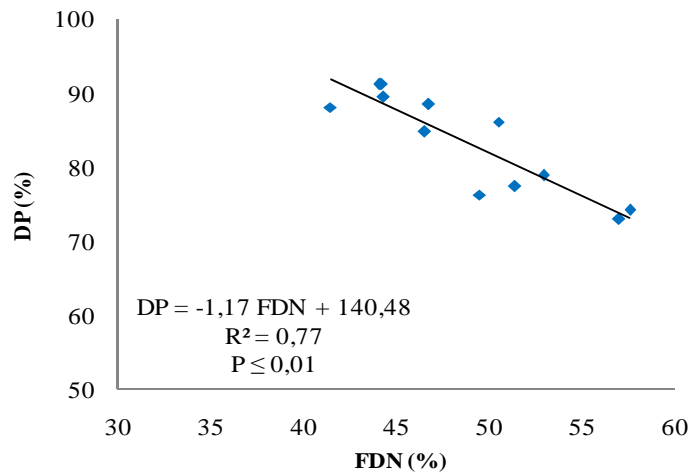


Figura 21. Regresión entre la concentración de fibra detergente neutro (FDN) y la degradabilidad potencial (DP) de la MS de la pradera mesofítica.

La capacidad predictiva de esta regresión es alta, ya que sólo un 23% de la variabilidad total de la degradabilidad potencial de la MS no es explicada por la variación en el contenido de FDN de la pradera, y debe ser atribuido a otras causas.

7.4 Regresión entre la FDN de la pradera y el parámetro de degradabilidad “a”

La regresión del parámetro “a” de la degradabilidad de la MS, sobre el contenido de FDN de esta, se presenta en la Figura 22.

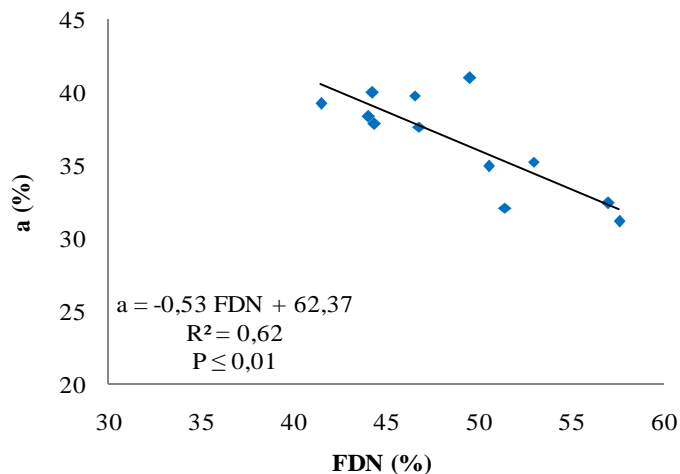


Figura 22. Regresión entre la concentración de fibra detergente neutro (FDN) y el parámetro de degradabilidad “a” de la MS de la pradera mesofítica.

Esta es una recta de pendiente negativa bastante marcada, con un buen ajuste de los datos, salvo dos valores que se alejan de la recta. La capacidad predictiva del modelo es levemente superior al 62%; tanto el intercepto con la ordenada, como la pendiente son muy significativos ($P < 0,01$).

La capacidad predictiva de esta regresión es regular, ya que un 38% de la variabilidad total de la fracción soluble de la MS no es explicada por la variación en el contenido de FDN de la pradera, y debe ser atribuido a otras causas.

7.5 Regresión entre la PB de la pradera y el NH_3 ruminal

La regresión de la concentración ruminal de NH_3 sobre el contenido de PB en la MS, se presenta en la Figura 23.

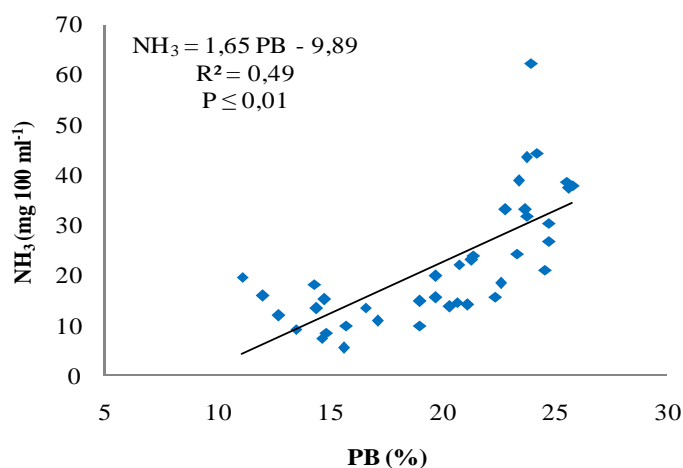


Figura 23. Regresión entre la concentración de proteína bruta (PB) de la pradera y la concentración de amoníaco ruminal (NH_3) en animales consumiendo la pradera mesofítica.

Esta es una recta de pendiente positiva bastante marcada, con un buen ajuste de los datos, salvo un valor que se aleja notoriamente de la recta. La capacidad predictiva del modelo es prácticamente de un 50%; el intercepto con la ordenada no es significativo ($P = 0,210$), sin embargo la pendiente es muy significativa ($P < 0,01$).

La capacidad predictiva de esta regresión es baja, ya que prácticamente un 50% de la variabilidad total del amoníaco ruminal no es explicada por la variación en el contenido de PB de la pradera, y debe ser atribuido a otras causas. Además, el intercepto de la recta con la ordenada no es significativo, por lo tanto no es recomendable la utilización de este

modelo para predecir la concentración de NH_3 ruminal. Por otro lado, para realizar esta predicción es importante conocer la degradabilidad ruminal de la PB de la pradera, y no sólo su contenido en la MS.

7.6 Regresión entre la FDN de la pradera y el NH_3 ruminal

La regresión de la concentración ruminal de NH_3 sobre el contenido de FDN en la MS, se presenta en la Figura 24.

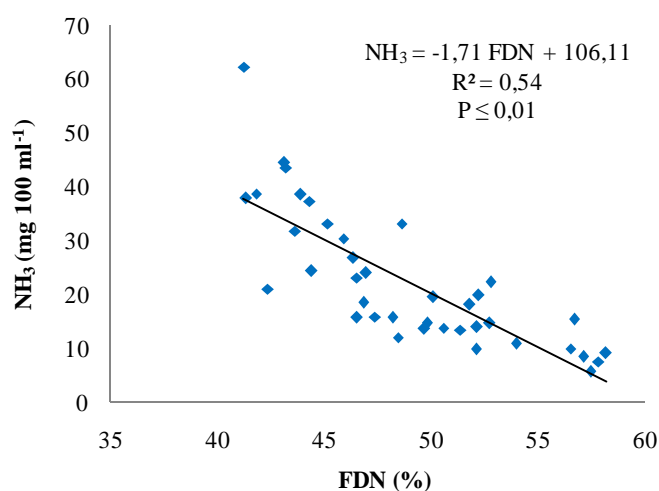


Figura 24. Regresión entre la concentración de fibra detergente neutro (FDN) de la pradera y la concentración de amoníaco ruminal (NH_3) en animales consumiendo la pradera mesofítica.

Esta es una recta de pendiente negativa muy marcada, con un buen ajuste de los datos, salvo un par de valores que se alejan notoriamente de la recta. La capacidad predictiva del modelo es de un 54%; tanto el intercepto con la ordenada, como la pendiente son muy significativos ($P < 0,01$).

La capacidad predictiva de esta regresión es baja, ya que un 46% de la variabilidad total de la concentración de NH_3 ruminal no es explicada por la variación del contenido de FDN de la pradera, y debe ser atribuido a otras causas.

7.7 Regresión entre la DP de la MS y el NH_3 ruminal

La regresión de la concentración ruminal de NH_3 sobre la degradabilidad potencial de la MS, se presenta en la Figura 25.

Esta es una recta de pendiente positiva muy marcada, con un buen ajuste de los datos, salvo un par de valores que se alejan de la recta. La capacidad predictiva del modelo es del 63%; tanto el intercepto con la ordenada, como la pendiente son muy significativos ($P < 0,01$).

La capacidad predictiva de esta regresión es regular, ya que un 37% de la variabilidad total de la concentración de amoníaco ruminal no es explicada por la variación en la degradabilidad potencial de la MS, y debe ser atribuido a otras causas.

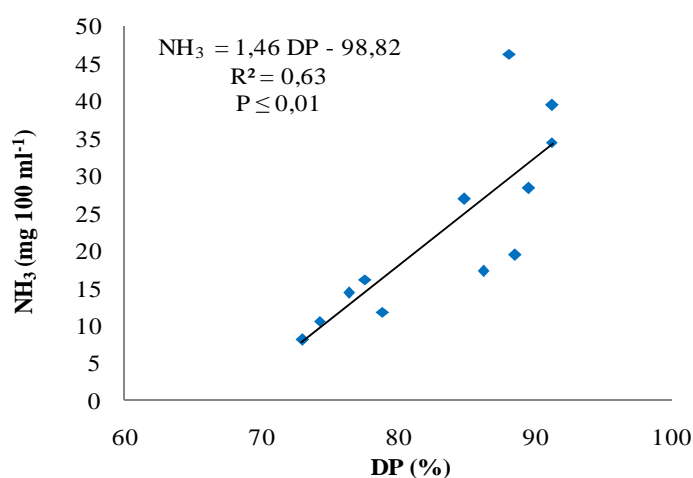


Figura 25. Regresión entre la degradabilidad potencial (DP) de la MS y la concentración de amoníaco ruminal (NH₃) en animales consumiendo la pradera mesofítica.

Además, esta regresión presenta limitaciones similares a la regresión del contenido de PB de la pradera sobre la concentración de NH₃ ruminal (Figura 23). Esto se debe a que la degradabilidad de los componentes de la MS, producen un efecto opuesto sobre las concentraciones de amoníaco ruminal. Un aumento en degradabilidad de la PB aumenta el contenido de NH₃, mientras que un aumento en degradabilidad de los carbohidratos, podría disminuirlo.

7.8 Regresión entre el NH₃ ruminal y el CPR en la leche

La regresión del contenido de proteína láctea sobre la concentración ruminal de NH₃, se presenta en la Figura 26.

Esta es una recta de pendiente positiva, con un regular ajuste de los datos, y la capacidad predictiva del modelo es de un 40%; tanto el intercepto con la ordenada, como la pendiente son muy significativos ($P < 0,01$).

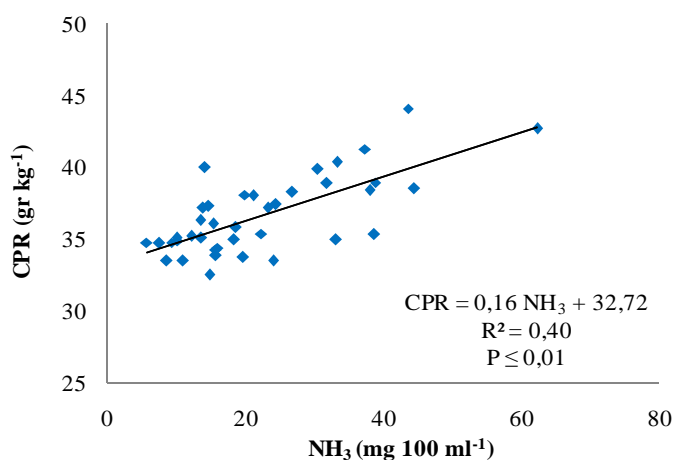


Figura 26. Regresión entre la concentración de amoníaco ruminal (NH₃) y el contenido de proteína en la leche (CPR) en animales consumiendo la pradera mesofítica.

La capacidad predictiva de esta regresión es muy baja, ya que prácticamente un 60% de la variabilidad total del contenido de proteína en la leche no es explicada por la variación en la concentración de amoníaco ruminal, y debe ser atribuido a otras causas.

La baja capacidad predictiva se puede deber a que la síntesis de proteína láctea depende de distintos procesos metabólicos. Como se explicó anteriormente (Cuadro 10), el NH₃ es utilizado para sintetizar sobre el 70% de la proteína microbiana (Webster, 1993, citado por Hein 2005), aportando aminoácidos para la síntesis de proteína láctea, sin embargo si el contenido de NH₃ excede la capacidad de los M.O. ruminales, es transformado a urea, presentándose en esta forma en la leche.

Esta situación representa dos inconvenientes para la utilización de este modelo. En primer lugar, el contenido de urea en la leche sobrestima el contenido de proteína láctea que arrojan los análisis comúnmente realizados y, en segundo lugar, convertir el NH₃ en urea significa un gasto energético adicional para el animal, disminuyendo la producción de leche, aumentando su concentración de proteína y reduciendo la producción total de proteína láctea.

7.9 Regresión entre el peso de los animales y la PLCE

La regresión de la producción láctea corregida por energía sobre el peso vivo de los animales, se presenta en la Figura 27.

Esta es una recta de pendiente positiva, con un buen ajuste de los datos, y la capacidad predictiva del modelo es superior al 59%; tanto el intercepto con la ordenada, como la pendiente son muy significativos ($P < 0,01$).

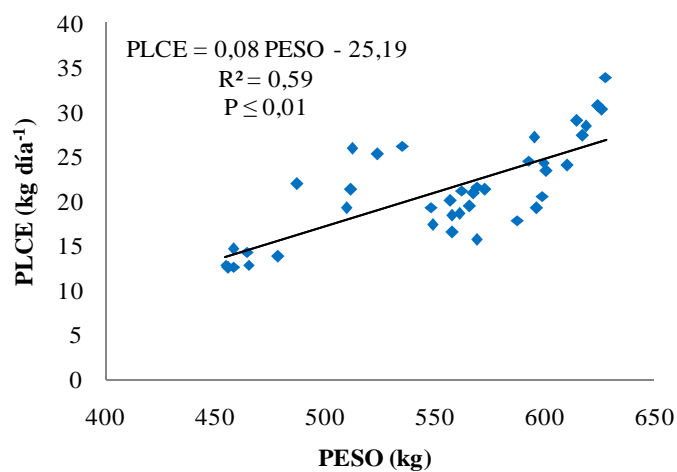


Figura 27. Regresión entre el peso y la producción de leche (PLCE) en animales consumiendo la pradera mesofítica.

La capacidad predictiva de esta regresión es baja, ya que un 41% de la variabilidad total de la producción láctea corregida por energía y proteína no es explicada por la variación en el peso vivo que presentan los animales durante la lactancia, y debe ser atribuido a otras causas.

8. CONCLUSIONES

De acuerdo a la época, lugar donde se realizó el ensayo y duración del periodo experimental, se concluyó lo siguiente:

- 1.- La maduración que experimenta la pradera hacia fines de verano, se traduce en una reducción de su valor nutritivo, lo cual provoca una disminución del consumo, de la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen, y de la producción de leche.
- 2.- La producción de leche disminuye en forma sostenida durante el periodo verano-otoño, mientras que su concentración de sólidos totales aumenta. Esto ocurre como consecuencia de los cambios fenológicos en la pradera y de la etapa de la lactancia de los animales.
- 3.- No existe correlación entre la concentración de nutrientes de la pradera y los parámetros ruminales, a excepción del amoníaco ruminal.
- 4.- Es factible correlacionar la concentración de algunos nutrientes de la pradera con la producción de leche y el contenido de proteína láctea, por lo cual es posible establecer ecuaciones predictivas entre ellas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- AFRC. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. CAB international, Wallingford, UK, 159 p.
- Annison EF, Bryden WL. 1999. Perspectives on ruminant nutrition and metabolism. II. Metabolism in ruminant tissues. Nutrition Research Reviews. Vol. 12: 147 – 177.
- Anrique, R., Fuschlocher, R., Iraira, H., Saldaña, R. 2010. Composición de alimentos para el ganado bovino. Consorcio Lechero. Cuarta edición. p. 25.
- Anrique, R., Latrille, L., Balocchi, O., Pinochet, D., Moreira, V., Smith, R., *et al.* 2004. La producción de leche en Chile: caracterización técnica a nivel predial. 59 p. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile.
- Alamos, A. 2004. Evaluación de la producción estacional de leche en la Décima Región Sur. Pontificia Universidad Católica de Chile. 36p.
- Alomar, D., Anrique, R., Meissner, P., *et al.* 1997. Composición química y digestibilidad in vivo de ensilajes de ballica italiana. (en cuatro estados fenológicos). Agro sur. Vol.25, N°1, p.34-40.
- Bargo, F., Muller, L., *et al.* 2003. Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. J. Dairy Sci. 86, 1–42.
- Bernier, R., Teuber, N. 1981. Curvas de crecimiento anual de gramíneas forrajeras en la zona de Osorno. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Remehue. Boletín Técnico Remehue N°46 (11 Re). 15 p
- Buchi Laboratory-Techniques . S.A. Nitrogen-information N°1. Principles and general standard practiques guide. Switzerland. 10 pp.
- Canseco, C., Abarzúa, A., Parga, J., Teuber, N., Balocchi, O., Lopetegui, J., *et al.* 2007. Manejo del pastoreo. Cooprinsem. Osorno, Chile. Cap. 4, p 55-56.
- Cerda, D., Manterola, H., Sirhan, L., Illanes, R. 1987. Validación y estudios comparativos de métodos estimadores de la digestibilidad aparente de alimentos para rumiantes. Avance en Producción Animal. N° 12 (1-2), p 87-97.
- Chaves, A., Waghorn, G., Tavendale, M. 2002. Digestion kinetics of ryegrass. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 62, 157-162.

- Cobos, M., Guerra, M., López, G., Báez, P., González, M., Mendoza, M. 2005. Evaluación in vitro de dos amortiguadores y un ionóforo sobre variables fermentativas y microbiológicas. *Agrociencia* 39: 1-9.
- Contreras, P., Noro, M. 2010. Rumen: morfología, trastornos y modulación de la actividad fermentativa. 3 ed. Valdivia: América. 135p.
- Correa, H., Cuellar, A. 2004. Aspectos clave del ciclo de la úrea con relación al metabolismo energético y proteico en vacas lactantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 17 (1).
- Cubillos, G., Barnes, R., Noller, C., Cerviño, D. y Ortiz, F. 1970 Efecto de la edad de la planta en la composición química y digestibilidad in vitro de la materia seca de ballica perenne, *Lolium perenne* L. *Agricultura Técnica*. Vol. 30. N°1, p 1-6.
- Cuevas, E., Anrique, R. y Balocchi, O. 1983. Producción, utilización y calidad de la una pradera permanente en el sur de Chile. *AGRO SUR*. Vol. 11. N°2, p 98-104.
- Di Rienzo, *et al.* 2005. Estadística para las Ciencias Agropecuarias. Sexta Edición. Edición electrónica. Argentina. P. 216-218.
- Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Climas de Chile. [en línea] http://www.meteochile.cl/climas/climas_decima_region.html [consulta : marzo 2011].
- Dwain, L. 2004. Estrategias nutricionales para cambiar los componentes de la leche. II Seminario sobre Alimentación y Manejo de Ganado Lechero “Efecto de la proteína de soya, los aminoácidos y los micro minerales en la producción”. American Soybean Association Internacional Marketing (ASA-IM).
- Glic, D. 1969. *Methods of biochemical analysis*. Inter Science Publishers New York. 17: 316. 428 p.
- González H, J. Magofke, C. Mella. 2005. Productividad, consumo y eficiencia biológica en vacas Frisón neozelandés y F1 (Jersey - Frisón neozelandés) paridas a fines de invierno en la X región, Chile. *Arch Med Vet* 1, 37-47.
- Grigera, J., Bargo, F. 2005. Evaluación del estado corporal en vacas lecheras. Informe Técnico. Consultores Elanco Animal Health. www.produccion-animal.com.ar.
- Hein, S. 2005. Estimación de la síntesis de proteína microbiana ruminal, en vacas lecheras a pastoreo primaveral, con suplementación de dos tipos de concentrados energéticos. Universidad Austral de Chile. 44 p.

- Jacobs, J., F. McKenzie, and G. Ward. 1999. Changes in the botanical composition and nutritive characteristics of pasture, and nutrient selection by dairy cows grazing rainfed pastures in western Victoria. *Journal of Experimental Agriculture* 39 (4), 419–428.
- Klein, F. 2001. Alimentación de vacas lecheras a pastoreo. En: Opazo, L., Teuber, N., Siebald, E. (eds.). *Seminario de Leche: Enfrentando juntos los nuevos desafíos*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Actas INIA N° 13. Cap. 4.
- Kolver, E., Veth, M. 2002. Prediction of ruminal pH from pasture based diets. *J Dairy Sci.* 85, 1255-1266.
- Machado, C., Morris, S., *et al.* 2005. Seasonal changes of herbage quality within a New Zealand beef cattle finishing pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 48, 265-270.
- McDonald, I.M. 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in rumen. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. V.96, p.251-252.
- Mejia, L.J., Ortiz, J.C. 1990. Factores que afectan los parámetros de un modelo para caracterizar la curva de lactancia en vacas Holstein en el hato Paysandú. Trabajo de pregrado Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 120 p.
- Navarro, H., Siebald, E., Celis, S. (eds.). 2006. *Manual de Producción de Leche para Pequeños y medianos Productores*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Inia N° 148.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Estadística Industria láctea. Avance mensual de producción y recepción en plantas lecheras. Ministerio de Agricultura de Chile. [en línea] http://www.odepa.gob.cl/jsp/lacteos/seil/seil_i4rml_enc.jsp [consulta : octubre 2010].
- Orskov, E. 1982. *Protein nutrition in ruminants*. Academic Press, London. 155p.
- Parga, J. 2003. Utilización de praderas y manejo de pastoreo con vacas lecheras. Seminario: Hagamos de la lechería un mejor negocio. Serie actas INIA N° 24. Cap. 3.
- Pérez, L., Anrique, R., Gonzalez, H. 2007. *Agricultura Técnica (Chile)* 67 (1): 39-48.
- Quintero, J.C.; Serna, J.I.; Hurtado, N.A. 2007. Modelos matemáticos para curvas de lactancia en ganado lechero. *Rev. Col. Cienc. Pec.*, v.20, p.149-156.
- Ruiz, I. (Ed.). 1994. *Praderas para Chile*. 2da. ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. p. 80 - 83.
- Salgado, R., Vergara, O. y Simanca, J. 2008. Relación entre peso, condición corporal y producción de leche en vacas del sistema doble propósito. *Revista MVZ Córdoba*. Volumen 13 (2).

- Scandolo, D., Noro, M., Böhmwald, H., Contreras, P., Wittwer, F. 2007. Variación diaria del pH y de las concentraciones de magnesio y potasio del fluido ruminal en vacas lecheras a pastoreo. Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias, Universidad Austral de Chile. Arch. Med. Vet. 39, Nº 2.
- Swan, H. 1983. Estrategia de alimentación para vacas lecheras en producción. Universidad de Nottingham, Inglaterra. Cap. 3, p. 46.
- Teuber, N., Balocchi, O., Parga, J. (eds.). 2007. Manejo del pastoreo. Fundación para la Innovación Agraria; Instituto de Investigaciones Agropecuarias; Universidad de la Frontera; Universidad Austral de Chile; Cooprinsem; ANASAC. Cap. 4.
- Teuber, K. y Dumont, L. 1996. Atributos de la pradera para la alimentación del rebaño lechero. En: Lanuza y Bortolameolli (Eds). III Seminario "Aspectos Técnicos y Perspectivas de la Producción de leche". Serie Remehue 64: 3-20.
- Thompson, M. 1998. Suplementación de vacas lecheras alimentadas con dietas en base a ensilaje de pradera con fuentes de almidón de distinta degradabilidad ruminal. Universidad Austral de Chile. 50 p.
- Tyrrel, H.E.; Reid, J.T. 1965. J. Dairy Sci. 48:1215-1233.
- Van Soest, P. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for determination of fiber and lignin. J. Assoc. Off. Agric. Chem. 46:829-834.
- Wales, W., Kolver, E., Thorne, P., Egan, A. 2004. Diurnal variation in ruminal pH on the digestibility on highly digestible perennial ryegrass during continuous culture fermentation. J Dairy Sci 87, 1864-1871.
- Zavaleta de Lucio, E. 1976. Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía en los rumiantes. Revista Ciencia Veterinaria, vol.1. Departamento de Nutrición y Bioquímica. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México.

10. APÉNDICES

10.1 Degradabilidad de la MS

Semana	a	b	c	R ²	EE
I de Febrero	41,45 ± 2,78	48,35 ± 9,32	0,06 ± 0,02	88,87	4,17
II de Febrero	36,62 ± 2,48	52,92 ± 2,79	0,15 ± 0,01	95,95	3,15
III de Febrero	34,28 ± 1,76	58,78 ± 6,35	0,05 ± 0,01	96,65	2,64
IV de Febrero	32,36 ± 4,98	54,45 ± 5,63	0,15 ± 0,03	85,89	6,36
I de Marzo	32,07 ± 1,08	60,03 ± 6,29	0,04 ± 0,009	98,44	1,66
II de Marzo	30,76 ± 1,50	47,26 ± 2,09	0,10 ± 0,01	97,61	2,08
III de Marzo	32,33 ± 1,39	57,45 ± 4,16	0,06 ± 0,01	97,95	2,07
IV de Marzo	38,59 ± 2,74	53,56 ± 3,09	0,15 ± 0,02	95,19	3,49
I de Abril	38,63 ± 2,11	54,25 ± 4,26	0,07 ± 0,01	95,69	3,06
II de Abril	36,55 ± 2,92	54,68 ± 3,41	0,13 ± 0,02	94,46	3,83
III de Abril	37,88 ± 1,93	58,67 ± 3,78	0,08 ± 0,01	96,91	2,80
IV de Abril	36,10 ± 3,33	56,87 ± 3,90	0,13 ± 0,02	93,40	4,37

10.2 Degradabilidad de la PB

Semana	a	b	c	R ²	EE
I de Febrero	23,79 ± 4,53	73,21 ± 7,29	0,08 ± 0,02	90,64	6,43
I de Marzo	24,85 ± 2,02	63,80 ± 2,70	0,10 ± 0,01	97,67	2,79
IV de Marzo	34,72 ± 4,20	61,77 ± 4,55	0,19 ± 0,03	92,52	5,05
IV de Abril	27,92 ± 6,54	69,21 ± 7,27	0,16 ± 0,04	88,07	8,11

10.3 Análisis de correlación 1

Variable	N	Media	DE
PLCE	39	21.17	5.54
CGR	39	55.12	10.29
CPR	39	36.65	2.71
PESO	39	555.35	52.66
CC	39	3.22	0.24
EM	39	10.59	0.45
PBR	39	19.86	4.38
FDN	39	48.96	5.00
pH	39	6.63	0.55
AAC	21	2446	695.50
APR	21	806.37	202.97
ABU	21	746.44	212.90
PAPR	21	0.20	0.02
PAAC	21	0.60	0.04
PABU	21	0.18	0.02
AT	21	3999	1034

	PLCE	CGR	CPR	PESO	CC	EM	PB	FDN
PLCE		-0.34332	-0.68272	0.70721	0.53126	0.01539	-0.52719	0.15402
CGR	-0.34332	0.0324	0.0001	0.0001	0.0005	0.9259	0.0006	0.3492
CPR	0.0324		0.43022	-0.64348	-0.62659	-0.24033	0.12462	-0.04427
PESO	-0.68272	0.43022		0.0063	0.0001	0.1406	0.4497	0.7890
CC	0.0001	0.0063		0.0001	0.0055	0.3120	0.0001	0.0002
EM	0.70721	-0.64348	-0.58696		0.80109	0.09100	-0.38402	0.20849
PB	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.5817	0.0158	0.2028
FDN	0.53126	-0.62659	-0.43582	0.80109		0.23171	-0.25447	0.12249
pH	0.0005	0.0001	0.0055	0.0001		0.1558	0.1180	0.4576
AAC	0.01539	-0.24033	0.16617	0.09100	0.23171		0.63748	-0.59838
APR	0.9259	0.1406	0.3120	0.5817	0.1558		0.0001	0.0001
ABU	-0.52719	0.12462	0.61203	-0.38402	0.25447	0.63748		-0.74948
PAPR	0.0006	0.4497	0.0001	0.0158	0.1180	0.0001		0.0001
PAAC	0.15402	-0.04427	-0.55629	0.20849	0.12249	-0.59838	-0.74948	
PABU	0.3492	0.7890	0.0002	0.2028	0.4576	0.0001	0.0001	
AT	-0.59917	0.32021	0.34528	-0.26624	-0.27538	-0.15387	0.30757	0.08619
	0.0001	0.0469	0.0313	0.1014	0.0897	0.3497	0.0568	0.6019
	0.37831	-0.17947	-0.13710	0.26830	0.22967	-0.11150	-0.17111	0.10556
	0.0908	0.4363	0.5534	0.2396	0.3166	0.6304	0.4583	0.6488
	0.14075	0.06911	0.09508	-0.23615	-0.31399	-0.12197	0.01301	-0.12960
	0.5428	0.7660	0.6818	0.3027	0.1657	0.5984	0.9554	0.5755
	0.28300	-0.07464	-0.10165	-0.06933	-0.19103	-0.06791	-0.01123	-0.08649
	0.2138	0.7478	0.6611	0.7652	0.4068	0.7699	0.9615	0.7093
	-0.36200	0.37304	0.35735	-0.62223	-0.65991	0.01558	0.27624	-0.29304
	0.1068	0.0958	0.1118	0.0026	0.0011	0.9466	0.2255	0.1973
	0.25138	-0.25976	-0.21258	0.55875	0.64428	-0.05356	-0.27851	0.29610
	0.2717	0.2555	0.3549	0.0085	0.0016	0.8176	0.2215	0.1925
	-0.07275	0.07655	-0.00771	-0.40818	-0.54844	0.09869	0.24928	-0.26589
	0.7540	0.7416	0.9735	0.0662	0.0100	0.6704	0.2758	0.2440
	0.34042	-0.12254	-0.09450	0.11985	0.05352	-0.11294	-0.11487	0.02776
	0.1310	0.5967	0.6837	0.6048	0.8178	0.6259	0.6200	0.9049

	pH	AAC	APR	ABU	PAPR	PAAC	PABU	AT
PLCE	-0.59917	0.37831	0.14075	0.28300	-0.36200	0.25138	-0.07275	0.34042
CGR	0.0001	0.0908	0.5428	0.2138	0.1068	0.2717	0.7540	0.1310
CPR	0.32021	-0.17947	0.06911	-0.07464	0.37304	-0.25976	0.07655	-0.12254
PESO	0.0469	0.4363	0.7660	0.7478	0.0958	0.2555	0.7416	0.5967
CC	0.34528	-0.13710	0.09508	-0.10165	0.35735	-0.21258	-0.00771	-0.09450
EM	0.0313	0.5534	0.6818	0.6611	0.1118	0.3549	0.9735	0.6837
PB	-0.26624	0.26830	-0.23615	-0.06933	-0.62223	0.55875	-0.40818	0.11985
FDN	0.1014	0.2396	0.3027	0.7652	0.0026	0.0085	0.0662	0.6048
pH	-0.27538	0.22967	-0.31399	-0.19103	-0.65991	0.64428	-0.54844	0.05352
AAC	0.0897	0.3166	0.1657	0.4068	0.0011	0.0016	0.0100	0.8178
APR	-0.15387	-0.11150	-0.12197	-0.06791	0.01558	-0.05356	0.09869	-0.11294
ABU	0.3497	0.6304	0.5984	0.7699	0.9466	0.8176	0.6704	0.6259
PAPR	0.30757	-0.17111	0.01301	-0.01123	0.27624	-0.27851	0.24928	-0.11487
PAAC	0.0568	0.4583	0.9554	0.9615	0.2255	0.2215	0.2758	0.6200
PABU	0.08619	0.10556	-0.12960	-0.08649	-0.29304	0.29610	-0.26589	0.02776
AT	0.6019	0.6488	0.5755	0.7093	0.1973	0.1925	0.2440	0.9049
		-0.05220	-0.13439	-0.16250	-0.04112	0.11485	-0.20117	-0.09497
		0.8222	0.5614	0.4816	0.8595	0.6201	0.3819	0.6822
	-0.05220		0.67182	0.76730	-0.55063	0.46350	-0.29202	0.96266
	0.8222		0.0009	0.0001	0.0097	0.0343	0.1990	0.0001
	-0.13439	0.67182		0.94454	0.22303	-0.31297	0.39823	0.84281
	0.5614	0.0009		0.0001	0.3312	0.1672	0.0738	0.0001
	-0.16250	0.76730	0.94454		0.01877	-0.17711	0.37055	0.90758
	0.4816	0.0001	0.0001		0.9356	0.4425	0.0982	0.0001
	-0.04112	-0.55063	0.22303	0.01877		-0.96384	0.80322	-0.32278
	0.8595	0.0097	0.3312	0.9356		0.0001	0.0001	0.1535
	0.11485	0.46350	-0.31297	-0.17711	-0.96384		-0.93291	0.21390
	0.6201	0.0343	0.1672	0.4425	0.0001		0.0001	0.3518
	-0.20117	-0.29202	0.39823	0.37055	0.80322	-0.93291		-0.04196
	0.3819	0.1990	0.0738	0.0982	0.0001	0.0001		0.8567
	-0.09497	0.96266	0.84281	0.90758	-0.32278	0.21390	-0.04196	
	0.6822	0.0001	0.0001	0.0001	0.1535	0.3518	0.8567	

10.4 Análisis de correlación 2

Variable	N	Media	DE
PLCE	13	21.17	4.96
CGR	13	55.12	6.36
CPR	13	36.65	2.40
PESO	13	552.78	26.84
CC	13	3.23	0.08
EM	13	10.59	0.38
PB	13	19.86	4.40
FDN	13	48.96	4.99
PH	13	6.60	0.54
AAC	7	2446	353.38
APR	7	806.57	93.11
ABU	7	746.57	118.02
PAAC	7	0.61	0.02
PAPR	7	0.20	0.01
PABU	7	0.18	0.01
AT	7	3999	532.65
CMS	13	122.23	20.89
NH3	13	22.32	11.88
DP	12	83.29	6.84
DR	12	71.20	8.92
A	12	36.68	3.37
B	12	56.31	5.54
C	12	0.09	0.041

	PB	FDN	EM	PLCE	CGR	CPR	PESO	CC
CMS	-0.73520 0.0042	0.35617 0.2323	-0.29885 0.3213	0.97507 <.0001	-0.32813 0.2737	-0.72863 0.0047	0.94059 <.0001	0.82816 0.0005
NH₃	0.79192 0.0013	-0.90502 <.0001	0.64772 0.0167	-0.43504 0.1374	0.31726 0.2909	0.80350 0.0009	-0.66804 0.0126	-0.55726 0.0479
DP	0.92129 <.0001	-0.88922 0.0001	0.90485 <.0001	-0.18956 0.5552	-0.01157 0.9715	0.54426 0.0673	-0.40029 0.1973	-0.26413 0.4068
DR	0.78031 0.0027	-0.77933 0.0028	0.90957 <.0001	-0.03204 0.9213	-0.09390 0.7716	0.36715 0.2404	-0.19897 0.5353	-0.10310 0.7498
A	0.49859 0.0990	-0.81138 0.0014	0.60268 0.0381	0.16922 0.5991	-0.01364 0.9664	0.33131 0.2928	-0.12658 0.6950	-0.05710 0.8601
B	0.05609 0.8625	0.07466 0.8176	-0.10397 0.7478	-0.03983 0.9022	0.44216 0.1501	0.06819 0.8332	-0.18553 0.5637	-0.24350 0.4457
C	0.54518 0.0668	-0.44637 0.1458	0.72774 0.0073	-0.03845 0.9056	-0.18182 0.5717	0.15838 0.6230	-0.05310 0.8698	0.02050 0.9496

	CMS	pH	AAC	APR	ABU	AT	PAAC	PAPR
CMS		-0.66847 0.0125	0.75868 0.0480	0.77520 0.0406	0.77958 0.0387	0.81252 0.0263	0.03465 0.9412	-0.26764 0.5617
NH₃	-0.54963 0.0517	0.10440 0.7343	-0.54357 0.2073	-0.08855 0.8503	-0.31161 0.4963	-0.44620 0.3156	-0.55507 0.1959	0.76279 0.0461
DP	-0.43148 0.1613	-0.26604 0.4033	-0.17039 0.7469	0.61041 0.1981	0.33359 0.5182	0.05486 0.9178	-0.83408 0.0390	0.77415 0.0708
DR	-0.27982 0.3784	-0.48026 0.1140	-0.06620 0.9008	0.69300 0.1269	0.46074 0.3578	0.16892 0.7490	-0.83221 0.0399	0.69754 0.1234
A	0.01658 0.9592	-0.38545 0.2159	-0.12149 0.8187	0.58812 0.2195	0.29038 0.5767	0.07488 0.8879	-0.72329 0.1043	0.71044 0.1136
B	0.03119 0.9233	0.55123 0.0632	-0.36844 0.4724	0.38638 0.4493	0.13157 0.8038	-0.16292 0.7578	-0.82786 0.0419	0.82289 0.0443
C	-0.24887 0.4354	-0.52069 0.0826	0.12312 0.8162	0.74518 0.0891	0.65648 0.1567	0.35290 0.4926	-0.75022 0.0858	0.46322 0.3549

	PABU	NH ₃	DP	DR	A	B	C
CMS	0.24399	-0.54963	-0.43148	-0.27982	0.01658	0.03119	-0.24887
	0.5980	0.0517	0.1613	0.3784	0.9592	0.9233	0.4354
NH ₃	0.15984		0.81383	0.65769	0.63592	0.04614	0.35949
	0.7321		0.0013	0.0201	0.0262	0.8868	0.2511
DP	0.66506	0.81383		0.94848	0.62936	-0.17480	0.74077
	0.1495	0.0013		<.0001	0.0283	0.5869	0.0059
DR	0.74512	0.65769	0.94848		0.59381	-0.40308	0.88998
	0.0892	0.0201	<.0001		0.0418	0.1939	0.0001
A	0.52629	0.63592	0.62936	0.59381		-0.18906	0.22668
	0.2835	0.0262	0.0283	0.0418		0.5562	0.4787
B	0.60996	0.04614	-0.17480	-0.40308	-0.18906		-0.59759
	0.1985	0.8868	0.5869	0.1939	0.5562		0.0402
C	0.85314	0.35949	0.74077	0.88998	0.22668	-0.59759	
	0.0308	0.2511	0.0059	0.0001	0.4787	0.0402	

10.5 Análisis de regresión

Y	X	n	r	Intercepto	Pendiente	R ²	P
DP	EM	12	0,905	-94,18**	16,69**	0,80	<0,001
DP	PB	12	0,921	51,18**	1,57**	0,83	<0,001
DP	FDN	12	-0,889	140,48**	-1,17**	0,77	<0,001
CGR	PLCE	39	-0,343	71,35**	-0,79**	0,32	0,0046
CPR	PLCE	39	-0,683	42,84**	-0,29**	0,35	0,0030
PLCE	PESO	39	0,707	-25,19**	0,08**	0,59	<0,001
PLCE	CC	39	0,531	-26,29	14,82**	0,32	0,0047
CGR	CC	39	-0,627	134,95**	-24,95**	0,54	0,0001
DP	A	12	0,629	36,42	1,28*	0,34	0,0283
DP	B	12	-0,175	95,45**	-0,22	0,03	0,587
DP	C	12	0,740	71,40**	123,13	0,50	0,0059
NH3	DP	12	0,814	-98,82**	1,46**	0,63	0,0013
NH3	DR	12	0,658	-41,64	0,91*	0,38	0,0201
DR	DP	12	0,948	-31,80*	1,24**	0,89	<0,001
PLCE	PB	39	-0,527	32,32**	-0,52	0,14	0,0524
CPR	PB	39	0,612	30,22**	0,31*	0,26	0,0103
CGR	PB	39	0,125	43,60**	0,52	0,06	0,1568
CC	NH3	39	-0,557	3,40**	-0,007	0,06	0,1444
PESO	NH3	39	-0,668	610,27**	-2,27*	0,17	0,0362
PLCE	NH3	39	-0,435	26,65**	-0,21	0,11	0,0751
CPR	NH3	39	0,804	32,72**	0,16**	0,40	0,0013
PAPR	NH3	21	0,763	837,80**	-1,32	0,58	0,7578
PAAC	NH3	21	-0,555	3127,60**	-28,64*	0,16	0,0388

Y	X	n	r	Intrecepto	Pendiente	R ²	P
A	NH3	12	0,636	32,70**	0,17*	0,34	0,0262
AAC	NH3	21	-0,544	3127,60**	-28,65*	0,16	0,0388
NH3	EM	39	0,648	-91,18	10,72*	0,22	0,0196
NH3	PB	39	0,791	-9,89	1,65**	0,49	0,0002
NH3	FDN	39	-0,905	106,11	-1,71	0,54	<0,001
CPR	FDN	39	-0,556	50,02**	-0,28*	0,20	0,0241
CPR	DP	12	0,544	20,72*	0,19	0,23	0,0673
A	EM	12	0,603	-21,527	5,47	0,30	0,0381
A	PB	12	0,499	28,12**	0,42	0,17	0,099
A	FDN	12	-0,811	62,37**	-0,53**	0,62	0,0014
C	EM	12	0,728	-0,762*	0,081**	0,48	0,0073
C	PB	12	0,545	-0,02	0,01	0,23	0,0668
C	FDN	12	-0,446	0,27	-0,004	0,12	0,1458
CGR	B	12	0,442	26,74	0,51	0,12	0,1501
CGR	C	12	-0,182	58,32**	-28,36	0,03	0,5717

*: Representa diferencia significativa ($P < 0,05$). **: Representa diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$).

Y: variable dependiente; X: variable independiente. n: número de pares de variables. R²: coeficiente de determinación.