



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTO DE LA OFERTA DE FORRAJE Y EL NIVEL DE
SUPLEMENTACIÓN SOBRE LA RESPUESTA EN PRODUCCIÓN
DE LECHE Y SÓLIDOS LÁCTEOS EN VACAS A PASTOREO**

Tesis presentada para optar al grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias,
mención en Producción Animal

LUIS FELIPE PIÑA MORAGA
INGENIERO AGRÓNOMO

DIRECTORES DE TESIS

HUMBERTO GONZÁLEZ V.
HÉCTOR MANTEROLA B.

PROFESORES CONSEJEROS

ALFREDO OLIVARES E.
GIORGIO CASTELLARO G.

SANTIAGO - CHILE
2012

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

TÍTULO

**EFFECTO DE LA OFERTA DE FORRAJE Y EL NIVEL DE
SUPLEMENTACIÓN SOBRE LA RESPUESTA EN PRODUCCIÓN
DE LECHE Y SÓLIDOS LÁCTEOS EN VACAS A PASTOREO**

Tesis presentada para optar al grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias,
mención en Producción Animal.

LUIS FELIPE PIÑA MORAGA
INGENIERO AGRÓNOMO

Calificación

DIRECTORES DE TESIS

Humberto González V.
Ing. Agr. Mg. Sc.

Aprobada

Héctor Manterola B.
Ing. Agr. M. S.

Aprobada

PROFESORES CONSEJEROS

Alfredo Olivares E.
Ing. Agr. Mg. Sc.

Aprobada

Giorgio Castellaro G.
Ing. Agr. Mg. Sc.

Aprobada

Santiago, Chile.
2012

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores guías, Humberto González y Héctor Manterola, por el apoyo, consejos y sugerencias para mejorar este trabajo.

A mis profesores consejeros, Giorgio Castellaro y, especialmente, a Alfredo Olivares, por sus comentarios, apoyo y constante preocupación por mi desarrollo personal y profesional.

A mis compañeros de labores en la etapa experimental, Lilia Valenzuela y Gonzalo López, por toda la colaboración, discusiones y buenos momentos vividos.

Al personal de apoyo y funcionarios de la Estación Experimental Oromo, por su inagotable disposición para cooperar en las labores del ensayo.

A Paulina Contreras, mi mujer, por todo su apoyo, comprensión y colaboración en la fase experimental, y la contención en los momentos difíciles.

Al personal de apoyo y funcionarios del Departamento de Producción Animal, por sus palabras de aliento y buenas vibras.

Finalmente, quisiera agradecer a mi familia, quienes siempre me han apoyado y han fomentado mi continuo perfeccionamiento.

ÍNDICE

	Pág.
I. RESUMEN	1
Palabras claves	1
II. ABSTRACT	2
Keywords	2
III. INTRODUCCIÓN	3
IV. HIPÓTESIS DE TRABAJO	6
V. OBJETIVOS	6
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	7
1.1. Diseño experimental y manejo de los animales	7
1.2. Manejo del pastoreo	8
1.3. Mediciones en la pastura	8
1.4. Mediciones en los animales	9
1.5. Estimación de consumo de materia seca	10
1.6. Análisis estadístico	15
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
1.1. Condiciones climáticas	16
1.2. Análisis químico del concentrado y la pastura seleccionada	16
1.3. Producción de leche y sólidos lácteos	18
1.4. Peso vivo, cambio de peso y condición corporal	22
1.5. Consumo diario de materia seca	28
1.6. Tasa de sustitución	39
1.7. Eficiencia de conversión, eficiencia biológica y respuesta en producción de leche	43
VIII. CONCLUSIONES	52
IX. LITERATURA CITADA	53
X. APÉNDICES	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cambio de peso en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	24
Figura 2. Efecto de la oferta de forraje sobre la condición corporal de vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana.	25
Figura 3. Efecto del nivel de suplementación con concentrados sobre la condición corporal de vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana.	26
Figura 4. Efecto de la oferta de forraje sobre el consumo de materia seca de pastura de vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana, en base a la ecuación de Baker (1985).	30
Figura 5. Efecto del nivel de suplementación con concentrados sobre el consumo de materia seca (CMS) de pastura de vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana, en base a la ecuación de Baker (1985).	32
Figura 6. Consumo de materia seca proveniente de la pastura, estimado según ecuación de Vazquez y Smith (2000), en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	33
Figura 7. Consumo de materia seca proveniente de la pastura, estimado según ecuación de Vazquez y Smith (2000), en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	34
Figura 8. Consumo de materia orgánica proveniente de la pastura, estimado según ecuación de Caird y Holmes (1986), en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	35

	Pág.
Figura 9. Consumo de materia orgánica proveniente de la pastura, estimado según ecuación de Caird y Holmes (1986), en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	36
Figura 10. Efecto del nivel de suplementación con concentrados sobre la relación grasa:proteína en vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana.	44
Figura 11. Eficiencia de conversión alimenticia de vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	48
Figura 12. Eficiencia de conversión alimenticia de vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	49
Figura 13. Eficiencia energética bruta corregida por cambio de peso (EEBccp) en vacas Holstein Neozelandés sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	50
Figura 14. Eficiencia energética bruta corregida por cambio de peso (EEBccp) en vacas Holstein Neozelandés sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	50

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Manejo del pastoreo y análisis nutricional de la pastura colectada mediante el método “hand plucking” y del concentrado utilizado en el ensayo.	17
Cuadro 2. Características productivas de vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación con concentrado.	19
Cuadro 3. Peso vivo, diferencia de peso y condición corporal de vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	23
Cuadro 4. Consumo diario de materia seca (CMS), estimado según ecuación de Baker (1985), de vacas Holstein Neozelandés a pastoreo sometidas a dos niveles de oferta de forraje y tres niveles de suplementación.	29
Cuadro 5. Consumo diario de pastura de vacas Holstein Neozelandés a pastoreo, estimado según ecuaciones de Vazquez y Smith (2000) (CMS_{VZ}) y Caird y Holmes (1986) ($CMO_{C\&H}$).	33
Cuadro 6. Matriz de correlaciones para la variable consumo de materia seca de pastura.	38
Cuadro 7. Tasa de sustitución en vacas lecheras a pastoreo, con dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación con concentrados, según consumo de materia seca obtenido con las ecuaciones de Baker (1985), Caird y Holmes (1986) y Vazquez y Smith (2000).	39
Cuadro 8. Consumo de energía metabolizable en vacas lecheras a pastoreo, con dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación con concentrados, según ecuaciones propuestas por AFRC (1993).	42

	Pág.
Cuadro 9. Respuesta en producción de leche, relación grasa:proteína, contenido energético de la leche y valorización energética de la producción diaria de leche de vacas Holstein Neozelandés sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	43
Cuadro 10. Eficiencia de conversión alimenticia y eficiencia energética bruta corregida por cambio de peso (EEBccp) de vacas Holstein Neozelandés sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.	47

I. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la oferta de forraje (OF) y el nivel de suplementación con concentrados sobre la respuesta en producción de leche y sólidos lácteos en vacas lecheras en lactancia temprana. Veinticuatro vacas Holstein Neozelandés fueron asignadas aleatoriamente en 6 tratamientos ($n=4$), en un arreglo factorial de 2 x 3. Los 6 tratamientos consistieron en 2 niveles de OF (> 5 cm) y 3 niveles de suplementación con concentrados: 25 kg de materia seca/vaca por día (baja) o 45 kg de materia seca/vaca por día (alta) y sin suplementación, 3 kg o 6 kg de suplementación/vaca por día. El período experimental tuvo una duración de 21 días. Se midió producción de leche, composición láctea, peso vivo, condición corporal y se estimó el consumo de materia seca de los animales. El incremento en la oferta de forraje aumentó significativamente la producción de leche en los tratamientos sin suplementación. No hubo efecto de la oferta de forraje sobre la concentración de proteína y grasa láctea, sobre la producción de sólidos lácteos y sobre la producción de leche corregida por energía. Hubo una diferencia significativa en la concentración de proteína láctea cuando la suplementación aumentó de 0 a 6 kg, en el tratamiento con alta OF. La oferta de forraje y el nivel de suplementación tuvieron un efecto significativo sobre la condición corporal.

El consumo total de materia seca y el consumo de materia seca de la pastura fue significativamente mayor en los tratamientos con baja OF. La suplementación con concentrados disminuyó significativamente el consumo de forraje de la pastura. La respuesta en producción de leche fue significativamente menor con altos niveles de OF y suplementación. Hubo una diferencia significativa en la eficiencia de conversión alimenticia cuando la OF aumentó de 25 a 45 kg de materia seca. La OF y la suplementación tuvieron un efecto significativo sobre la eficiencia biológica. Los resultados de este estudio indican que ofrecer una alta oferta de forraje (45 kg de materia seca) en lactancia temprana (80 días de lactancia) no incrementa la respuesta productiva en vacas lecheras. Sin embargo, una alta OF disminuye la eficiencia de utilización del forraje ofrecido. En un escenario de asignación de forraje en la mitad de primavera, cuando la calidad y cantidad de forraje es la adecuada, ofrecer 25 kg de materia seca por vaca al día permite mantener una alta producción de leche con apropiados niveles de utilización del forraje.

Palabras clave: Oferta de forraje, vacas lecheras, concentrado, manejo del pastoreo

II. ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of daily herbage allowance (DHA) and concentrate level on milk and milk solids response of dairy cows in early lactation. Twenty four New Zealand Holstein dairy cows were randomly assigned across 6 treatments ($n=4$) in a 2×3 factorial arrangement. The 6 treatments consisted of 2 DHA (>5 cm) and 3 concentrate levels: 25 kg of herbage dry matter/cow per d (low) or 45 kg of herbage dry matter/cow per d (high) DHA and unsupplemented, 3 kg, or 6 kg of dry matter concentrate/cow per d. The experimental period lasted 21 d. Milk production, milk composition, body weight, body condition score and dry matter intake were measured. Increasing DHA significantly increased milk production in unsupplemented treatment. There were no effect of DHA on protein concentration, fat concentration, milk solids production and energy-corrected milk. There was a significant difference in protein concentration as concentrate increased from 0 to 6 kg in high DHA treatment. DHA and concentrate supplementation had a significantly effect on body condition score.

Total dry matter intake and herbage dry matter intake were significantly higher with the low-DHA treatments. Concentrate supplementation significantly decreased herbage dry matter intake. Milk response was significantly lower with high DHA and high level of concentrate supplementation. There was a significant difference in feed conversion efficiency as DHA increased from 25 to 45 kg dry matter. DHA and concentrate supplementation had a significant effect on biological efficiency. Results from this study indicate that offering a high level of DHA (45 kg of herbage dry matter) in early lactation (80 days in milk) does not increase the productive response of dairy cows. However, high DHA decreased the efficiency of herbage utilization. In an mid spring feed-budgeting scenario, when grass supply and grass quality is adequate, offering 25 kg dry matter per d allow to maintain high milk production with appropriated levels of herbage utilization.

Keywords: Herbage allowance, dairy cows, concentrate, grazing management.

III. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la investigación en sistemas pastoriles es la optimización del uso del pastizal. En especial, se busca mejorar la comprensión de los factores que influyen en el consumo de materia seca y selección de la dieta por parte de los animales.

La oferta de forraje (OF), la disponibilidad de materia seca (DMS), la altura y la densidad del pastizal, son algunas de las características que determinan la estructura física de la pastura y que pueden, por tanto, influir en el comportamiento de los animales a pastoreo y en la velocidad a la cual cambian las condiciones del pastizal a través del tiempo (Tharmaraj *et al.*, 2003).

Dalley *et al.* (1999) señalan que la importancia de la oferta de forraje, entendida como la cantidad de materia seca (MS) asignada diariamente al animal, radica en que este parámetro está estrechamente relacionado con el consumo de forraje de la pastura; sin embargo, no está claramente definido cuál oferta de forraje se requiere para maximizar el consumo de materia seca.

Diversos estudios señalan que al aumentar la oferta de forraje, el consumo de materia seca y la producción de leche aumentan (Machado *et al.*, 2006; Tharmaraj *et al.*, 2003; Stockdale, 2000a). Se debe considerar, no obstante, que este manejo incrementa la productividad individual, pero generalmente disminuye la respuesta por unidad de superficie. En cambio, el enfoque en un sistema basado en pastoreo, debiera ser maximizar el rendimiento de los animales manteniendo un uso eficiente de la pastura (Kennedy *et al.*, 2008).

McEvoy *et al.* (2009) señalan que al incrementar la cantidad de forraje ofertado, la cantidad de pastura rechazada aumenta, lo que implicará una disminución en la calidad del forraje en las subsecuentes rotaciones del pastoreo. Por otra parte, si la oferta de forraje es muy baja, la presión de pastoreo puede incrementarse y el potencial de recuperación de las especies que constituyen la pastura, puede verse afectado.

Dado que la ingestión de energía es la principal limitante para vacas de alta producción en pastoreo (Bargo *et al.*, 2002b), se hace necesario suplementar a los animales con concentrados, fundamentalmente en los períodos de mayor balance energético negativo. La suplementación con concentrados busca incrementar el consumo de materia seca total y, por tanto, el consumo de energía total de los animales (Stockdale, 2000b), permitiendo que estos expresen su potencial de producción de leche con mínimas pérdidas de peso vivo (Delaby *et al.*, 2001), aumentando la producción por animal y por unidad de superficie (Kennedy *et al.*, 2008).

Cuando la oferta de forraje es baja, se esperan altos niveles de respuesta a la suplementación (Burke *et al.*, 2008). No obstante, cuando existe una oferta de forraje adecuada, la suplementación con concentrados de alta energía produce sólo un pequeño incremento en la producción de leche (Stockdale y Trigg, 1989). Además, según Delaby *et al.* (2001), el residuo post-pastoreo es mayor cuando la oferta de forraje es alta y existe una suplementación con concentrados, disminuyendo la eficiencia de utilización del pastizal y, en consecuencia, la calidad de éste.

El efecto de la suplementación con concentrados y su interacción con la oferta de forraje, no sólo tiene un efecto en la producción de leche, sino también en la producción y contenido de sólidos lácteos. El trabajo realizado por Wales *et al.* (1999) muestra que la suplementación con concentrados aumenta la producción de leche, pero disminuye el contenido de grasa, fundamentalmente por el cambio en la fermentación ruminal y en la relación ácido propiónico/ácido acético en el fluido ruminal.

En el caso del contenido de proteína, ésta aumenta en animales suplementados, en forma independiente a la oferta de forraje suministrada (Tozer *et al.*, 2004)

Diversos factores pueden influir en la magnitud de la respuesta a la suplementación con concentrados, como la cantidad y la calidad de la pastura y de los concentrados, o la etapa de la lactancia del animal (Stockdale y Trigg, 1985). Sin embargo, Robaina *et al.* (1998) señalan que, en sistemas basados en pastoreo, la calidad y disponibilidad de la pastura son los factores que dominan en la respuesta a la suplementación con concentrados.

La menor respuesta a la suplementación, en animales a los cuales se les oferta una alta cantidad de pastura, puede deberse al fenómeno de la sustitución (Tozer *et al.*, 2004; Robaina *et al.*, 1998; Stockdale y Trigg, 1989).

La sustitución corresponde a la disminución en el consumo de materia seca proveniente de la pastura, debido al consumo del suplemento (Bargo *et al.*, 2003). Por lo general, existe una reducción de entre 0 – 1 kg de materia seca consumida de la pastura por cada 1 kg de suplemento ingerido, lo que reduce la respuesta en producción de leche (Stockdale, 2000a).

Dos hipótesis han sido planteadas para explicar la sustitución de forraje por concentrado. Desde el punto de vista nutricional, la tasa de sustitución podría ser causada por efectos negativos en la asociación forraje-concentrado en el rumen (Dixon y Stockdale, 1999), mientras que, desde el punto de vista de las modificaciones en la conducta de pastoreo, la tasa de sustitución estaría causada por la reducción en el tiempo efectivo de pastoreo (McGilloway y Mayne, 1996), siendo común la presencia de ambos fenómenos en animales suplementados (Bargo *et al.*, 2002a).

Diversos estudios han comprobado que la tasa de sustitución no sólo depende de la cantidad de suplemento suministrado, sino también de la cantidad y calidad de la pastura ofrecida (Machado *et al.*, 2006; Wales *et al.*, 1999). Así, la tasa de sustitución aumentaría al ofrecer una alta cantidad de forraje, dada la mayor capacidad que posee el animal de seleccionar un forraje de mayor calidad y digestibilidad (Stockdale, 1999).

Según Stockdale (2000b), una alta tasa de sustitución puede reducir la rentabilidad de una explotación, debido a que la pastura no es usada de manera óptima. De este modo, los productores de leche debieran considerar los efectos de la interacción entre la oferta de forraje y la suplementación con concentrados cuando establecen un sistema de producción en base al pastoreo.

Con el aumento en los costos de los concentrados, incrementar la proporción de forraje proveniente de la pastura y maximizar su utilización, debiera ser uno de los principales objetivos de los productores de leche de nuestro país.

IV. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Hipótesis 1: La respuesta a la suplementación, expresada en producción de leche y de sólidos lácteos, disminuye conforme aumenta la ingestión de concentrados, aumentando la proporción de energía metabolizable dirigida a atenuar el balance energético negativo.

Hipótesis 2: La respuesta positiva a niveles crecientes de suplementación con concentrados, expresada en producción de leche y de sólidos lácteos, disminuye al aumentar la oferta de forraje de la pastura.

Hipótesis 3: A niveles crecientes de oferta de forraje y de concentrados, la disminución en la respuesta en producción de leche y sólidos lácteos es mayor, debido al efecto de sustitución.

Hipótesis 4: Existe interacción entre los niveles de oferta de forraje y de suplementación con concentrados, en la respuesta en producción de leche, de sólidos lácteos y en el consumo de materia seca en vacas a pastoreo.

V. OBJETIVOS

- Determinar el uso de la energía metabolizable adicional otorgada con la suplementación, cuantificando los requerimientos energéticos de mantención, producción, cambio de peso y gestación en vacas lecheras.
- Cuantificar la respuesta en producción de leche y de sólidos lácteos, en relación a diferentes ofertas de forraje y a distintos niveles de suplementación.
- Estimar la tasa de sustitución a distintos niveles de oferta de pastizal y de suplementación con concentrados.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Oromo, dependiente de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. El predio se ubica en el valle central de la Región de Los Lagos, comuna de Purranque (40° 53' S, 73° 06' O; 114 m.s.n.m.).

El clima del sector es templado frío con influencia mediterránea y lluvias a través de todo el año, disminuyendo en los meses de verano, lo que determina 3 a 4 meses sub-húmedos. La precipitación promedio anual es de 1.329 mm, concentrándose entre marzo y septiembre, con un período de menor precipitación entre octubre y febrero. La temperatura media anual es de 11,2 °C (Veloso, 2009).

El suelo del sector del ensayo pertenece a la serie Osorno, caracterizada por poseer suelos profundos, formados por sedimentación, cuyo material de origen corresponde a ceniza volcánica (CIREN, 2003).

1.1. Diseño experimental y manejo de los animales

Se ofrecieron 3 niveles de concentrado (0, 3 y 6 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹) y dos niveles de oferta diaria de forraje (25 y 45 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹), por un período de 21 días, en el mes de octubre de 2009, en un arreglo factorial de tratamientos de 3x2, los cuales quedaron constituidos de la siguiente manera:

T1: 0 kg animal⁻¹ día⁻¹ de concentrado, 25 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ de forraje

T2: 3 kg animal⁻¹ día⁻¹ de concentrado, 25 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ de forraje

T3: 6 kg animal⁻¹ día⁻¹ de concentrado, 25 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ de forraje

T4: 0 kg animal⁻¹ día⁻¹ de concentrado, 45 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ de forraje

T5: 3 kg animal⁻¹ día⁻¹ de concentrado, 45 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ de forraje

T6: 6 kg animal⁻¹ día⁻¹ de concentrado, 45 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ de forraje

Se seleccionaron 24 vacas adultas Holstein Neozelandés en base a su peso vivo (476,5±34,1 kg), condición corporal (2,9±0,2 puntos; en escala de 1 a 5), número ordinal de lactancia (4,7±1,9 lactancias), etapa de lactancia (70,4±19,8 días) y producción de leche en la presente lactancia (24,3±3,5 kg día⁻¹). Los animales fueron balanceados por los criterios señalados y distribuidos en los distintos tratamientos.

Los animales fueron separados en dos grupos de pastoreo ($n=12$), los cuales fueron sometidos a dos ofertas de forraje: 25 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ y 45 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹. Estos grupos se dividieron en tres subgrupos ($n=4$), correspondientes a sin concentrado, 3 kg de concentrado o 6 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ de concentrado. La suplementación fue ofrecida en la sala de ordeña, en partes iguales en la ordeña de la mañana y de la tarde. Luego de la rutina de ordeña, se retiró (si existía) el concentrado rechazado en cada comedero, para determinar el consumo efectivo individual.

1.2. Manejo del pastoreo

Los sectores de pastoreo utilizados se encontraban divididos en potreros de dos hectáreas. Se utilizó un sistema de pastoreo rotativo en franja diaria, la que fue asignada después de la ordeña de la tarde (18:00 h). Estas franjas se establecieron mediante cerco eléctrico, evitando que los animales volvieran a consumir la pastura que ya había sido utilizada.

La franja diaria de pastoreo fue asignada según la disponibilidad de materia seca pre-pastoreo existente y la superficie del potrero, para establecer la oferta de forraje correspondiente a cada tratamiento. La disponibilidad post-pastoreo no fue inferior a 1.000 kg MS ha⁻¹, para no limitar el consumo de materia seca de los animales (Parga *et al.*, 2007).

1.3. Mediciones en la pastura

Se midió diariamente la disponibilidad de materia seca del pastizal (kg MS ha⁻¹) pre y post-pastoreo, mediante el uso de un plato medidor de forraje (Jenquip, Feilding, New Zealand), realizando una medición sistemática a través de dos diagonales en cada franja con 100 mediciones por cada una.

La composición botánica del pastizal fue medida al inicio de cada período del ensayo y presentó, en promedio, 22,1 % de ballica perenne (*Lolium perenne* L.), 12,6 % de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), 10,3 % de diente de león (*Taraxacum officinale* G. H. Weber ex Wigg.), 8,2 % de trébol blanco (*Trifolium repens* L.), 40,5 % de otras especies y 6,3 % de material senescente.

Para caracterizar nutricionalmente la pastura se colectó, por un período de tres días consecutivos, veinte submuestras mediante el método “hand plucking” (Le Du y Penning, 1985). La muestra compuesta, a su vez, se subdividió en tres repeticiones (inicio, mitad y período final del ensayo), cada una de las cuales fue sometida a análisis químico para determinar su contenido de energía bruta (EB), por combustión en un calorímetro de bomba balístico (Givens, 1986); energía metabolizable (EM), por estimación en base a las ecuaciones de NRC (2007); digestibilidad (DIG), con el método de digestibilidad enzimática (Cerdeira *et al.*, 1987); fibra detergente neutro (FDN), por la metodología descrita por Göering y Van Soest (1970), y proteína bruta (PB), a través del método Kjeldhal (Bateman, 1970).

Los análisis químicos de la pastura fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal, perteneciente al Departamento de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

El concentrado se analizó químicamente en el Laboratorio de Nutrición Animal, perteneciente al Instituto de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, considerando los mismos parámetros analizados en la pastura. La digestibilidad de los alimentos fue calculada a partir del valor D, mediante el método de digestibilidad *in vitro* con licor ruminal de Tilley y Terry (1963) modificado por Göering y Van Soest (1970); mientras que la energía metabolizable fue estimada mediante regresión a partir del valor D (Garrido y Mann, 1981).

1.4. Mediciones en los animales

Los animales del grupo experimental fueron manejados separados del resto del rebaño de la Estación Experimental, durante todo el período del ensayo. Se realizaron dos ordeñas diarias, a las 08:00 y 18:00 h. La producción de leche individual (kg) fue registrada nueve veces en el período, con un medidor tipo “Waikato”. Las concentraciones de grasa y proteína en la leche fueron determinadas semanalmente, mediante el análisis de una muestra compuesta obtenida con la producción de una ordeña de la tarde y su sucesiva ordeña de la mañana. El análisis de la composición láctea fue realizado mediante espectroscopía de infrarrojos (Foss 4300 Milko-Scan) en laboratorios de Cooprinsem.

Como variables productivas de interés se consideró la producción diaria de leche sin corregir, el contenido de grasa y proteína, así como la producción diaria de estas últimas. Además, la producción de leche se corrigió a 4% de materia grasa (PL_{4%}) y de acuerdo a su valor energético (producción de leche CE). El contenido energético de un kilogramo de leche se estimó utilizando la ecuación de Tyrell y Reid (1965):

$$CE_L (\text{MJ kg}^{-1}) = 0,098 + (0,0376 \times \text{CMG}) + (0,0209 \times \text{CPL})$$

Donde:

- CE_L : Contenido energético del kilogramo de leche (MJ kg⁻¹).
 CMG : Contenido de materia grasa (g kg⁻¹).
 CPL : Contenido de proteína láctea (g kg⁻¹).

Por tanto, la valoración energética de la producción de leche diaria correspondió a la multiplicación de CE_L por la producción diaria de leche sin corregir.

La producción de leche corregida por energía (LCE) fue calculada en base a lo propuesto por Tyrell y Reid (1965):

$$\text{LCE} = \text{kg leche} \times [(383 \times \%G + 242 \times \%P + 783,2)] / 3.140$$

Donde:

- LCE : Leche corregida por energía (kg animal⁻¹ día⁻¹)
 %G : Contenido de grasa láctea (%)
 %P : Contenido de proteína láctea (%)

Los animales fueron pesados diariamente, luego de la ordeña matutina, durante todo el período del ensayo. Mediante regresión lineal, se obtuvo la tasa de cambio de peso, con la cual se determinó el aporte energético producto de la movilización de reservas corporales o, alternativamente, los requerimientos para incremento de peso. Los animales no contaron con agua de bebida en la sala de ordeña, con el objetivo de determinar efectivamente la variación de peso de los animales. La condición corporal de los animales fue medida semanalmente (escala 1-5, Edmonson *et al.*, 1989).

1.5. Estimación de consumo de materia seca

Los requerimientos de energía metabolizable de cada animal se calcularon de acuerdo a las ecuaciones descritas por AFRC (1993). El modelo general presenta la siguiente estructura:

$$\text{REMT} = (E_m/k_m + E_l/k_l + E_g/k_g + E_c/k_c) \times C_1$$

Donde,

- REMT : Requerimiento total individual de energía metabolizable (MJ día⁻¹)
 E_m/k_m : Requerimientos de EM para mantención.
 E_l/k_l : Requerimientos de EM para lactancia.
 E_g/k_g : Requerimientos de EM para cambio de peso durante la lactancia.
 E_c/k_c : Requerimientos de EM para gestación.
 C₁ : Factor de corrección por nivel de alimentación.

Dado que los índices k_m , k_l , k_g y k_c expresan la eficiencia de utilización de la EM dietaria para cubrir dichos requerimientos y son considerados funciones lineales de la metabolizabilidad del alimento (AFRC, 1993), que corresponde al cociente entre la EM y la EB, fue menester estimar una metabolizabilidad ajustada para los animales sometidos a suplementación:

$$aQ_m = \frac{(CEM_p \times \%P + CEM_c \times \%CCon)}{(CEB_p \times \%P + CEB_c \times \%CCon)}$$

Donde,

- aQ_m : Metabolizabilidad ajustada.
 CEM_p : Energía metabolizable de la pastura (MJ kg MS⁻¹).
 $\%P$: Porcentaje de la dieta aportado por el consumo de la pastura.
 CEM_c : Energía metabolizable del concentrado (MJ kg MS⁻¹).
 $\%CCon$: Porcentaje de la dieta aportado por el consumo del concentrado.
 CEB_p : Energía bruta de la pastura (MJ kg MS⁻¹).
 CEB_c : Energía bruta del concentrado (MJ kg MS⁻¹).

Para estimar el consumo individual de materia seca de pastura (kg MS animal⁻¹ día⁻¹), se utilizó la ecuación propuesta por Baker (1985) en base a la cuantificación de los requerimientos de energía metabolizable:

$$CMS = (REMT/CEM_p)$$

Donde,

- REMT : Requerimiento total individual de energía metabolizable (MJ día⁻¹)
 CEM_p : Contenido de EM de la pastura consumida (MJ kg MS⁻¹)

Así, el consumo de materia seca de la pastura fue calculado restando el aporte de EM que realizó la cantidad de concentrado consumida por el animal, a los requerimientos totales de EM. El consumo de materia seca obtenido mediante la ecuación de Baker (1985) se expresó en valor absoluto, por cada 100 kg de peso vivo y en gramos de MS por kg de PV^{0,75}.

Los resultados obtenidos con esta metodología fueron comparados con los obtenidos mediante la estimación de consumo en base a las ecuaciones planteadas por Caird y Holmes (1986) y Vazquez y Smith (2000). Según Bargo *et al.* (2003), las ecuaciones de Caird y Holmes (1986) y Vazquez y Smith (2000) son las más adecuadas para la estimación de consumo individual en animales a pastoreo.

La ecuación propuesta por Caird y Holmes (1986) permite observar los efectos de la sustitución generada por el consumo de concentrados por animales a pastoreo e incluye, dentro de sus términos, la oferta y disponibilidad de forraje:

$$\text{CMO}_{\text{C\&H pastura}} = 0,323 + 0,177*PL + 0,010*PV + 1,636*CCon - 1,008*DF + 0,540*OF - 0,006*OF^2 - 0,048*(OF*CCon)$$

Donde,

$\text{CMO}_{\text{C\&H pastura}}$: Consumo de materia orgánica de la pastura (kg MO día ⁻¹)
PL	: Producción de leche sin corregir (kg)
PV	: Peso vivo (kg)
CCon	: Consumo de concentrado (kg día ⁻¹)
DF	: Disponibilidad de forraje (Ton. MS ha ⁻¹)
OF	: Oferta de forraje (kg MS animal ⁻¹ día ⁻¹)

La ecuación de Vazquez y Smith (2000) considera variables muy similares a las utilizadas por la ecuación de Caird y Holmes (1986), pero plantea que la suplementación con concentrados no sólo posee un efecto sustitutivo en el consumo de materia seca del pastizal, sino que podría poseer un efecto aditivo:

$$\text{CMS}_{\text{VZ pastura}} = 4,47 + 0,14*PL_{4\%} + 0,024*PV + 2,0*CPV + 0,04*OF + 0,022*(CCon*OF) - 0,9*CCon - 0,13*FDNp - 0,037*LEG$$

Donde,

$PL_{4\%}$: Producción de leche corregida al 4% de materia grasa (kg)
CPV	: Cambio de peso vivo (kg)
FDNp	: Porcentaje de FDN en la dieta (%)
LEG	: Porcentaje de leguminosas en la pastura (%)

De este modo, para todas las ecuaciones planteadas, el consumo total de materia seca (CMST; kg MS día⁻¹) fue definido como la suma del consumo observado de concentrado (CCon; kg día⁻¹) y el consumo estimado de materia seca proveniente de la pastura.

La tasa de sustitución (TS) fue calculada de la siguiente manera:

$$TS = \frac{CMS_{SS} - CMS_{CS}}{CCon}$$

Donde,

- TS : Tasa de sustitución (kg MS de forraje kg concentrado consumido⁻¹).
 CMS_{SS} : Consumo de MS proveniente de la pastura, en animales sin suplementación (kg MS día⁻¹).
 CMS_{CS} : Consumo de MS proveniente de la pastura, en animales suplementados (kg MS día⁻¹).
 CCon : Consumo de concentrado (kg día⁻¹).

El CMS_{SS} fue considerado como el promedio de los consumos individuales de MS de pastura en los animales sometidos a los tratamientos sin suplementación, diferenciado según los niveles de oferta de forraje.

La respuesta en producción de leche fue expresada como el incremento total en producción de leche (kg día⁻¹) por kilogramo de suplemento consumido (kg día⁻¹), en relación a los tratamientos sin suplementación. En el caso del tratamiento de 45 kg MS y sin suplementación, fue expresada como el incremento total en producción de leche por kilogramo de MS adicional ofertada, en relación al tratamiento de 25 kg MS.

Como parámetros de eficiencia biológica, se calcularon la eficiencia de conversión alimenticia (ECA) y la eficiencia energética bruta, corregida por cambio de peso (EEBccp). La ECA fue calculada como el cociente entre la producción de leche corregida por energía y el consumo de MS total.

La EEBccp fue calculada diferencialmente, en relación a la modificación en el peso vivo de los animales.

Si existió un incremento de peso, se restó de la EM consumida la fracción empleada para este efecto. Por tanto, la ecuación utilizada fue:

$$EEBccp = (VE_L / (EMc - E_g/k_g)) \times 100$$

Donde:

- EEBccp : Eficiencia energética bruta, corregida por cambio de peso (%).
 VE_L : Energía neta producida en la leche (MJ día⁻¹).
 EMc : EM consumida (MJ día⁻¹).
 E_g/k_g : Requerimientos de EM para cambio de peso (MJ día⁻¹).

Alternativamente, si existió pérdida de peso corporal, fue necesario restar de la VE_L la fracción correspondiente al aporte de las reservas corporales. Se asumió un contenido de 19 MJ de energía neta por kilogramo de PV. Así, la ecuación empleada correspondió a la expresión:

$$EEB_{ccp} = ((VE_L + (CPV \times 19 \times k_t)) / EMc) \times 100$$

Donde:

- EEB_{ccp} : Eficiencia energética bruta, corregida por cambio de peso (%).
 VE_L : Energía neta producida en la leche ($MJ \text{ día}^{-1}$).
 CPV : Cambio de peso vivo ($kg \text{ día}^{-1}$).
 k_t : Eficiencia energética de la utilización de reservas corporales para producción de leche (0,84).
 EMc : EM consumida ($MJ \text{ día}^{-1}$).

1.6. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, con estructura factorial de 3x2, con tres niveles del factor nivel de suplementación (0, 3 y 6 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹) y dos niveles del factor oferta de forraje (25 y 45 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹), analizado en base a un modelo de medidas repetidas (REML). Todas las variables fueron analizadas como variables individuales.

De este modo, el modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + OF_i + OC_j + (OF \times OC)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde,

Y_{ijk}	: Variable dependiente
μ	: Promedio general
OF_i	: Efecto de la oferta de forraje (i= 25 y 45)
OC_j	: Efecto del nivel de suplementación (j= 0, 3 y 6)
$(OF \times OC)_{ij}$: Interacción entre la oferta de forraje y el nivel de suplementación
e_{ijk}	: Error experimental

Los datos resultantes fueron analizados mediante un análisis de varianza para medidas repetidas, considerando un nivel de significación del 5%, utilizando el paquete estadístico GenStat 12 (GenStat, 2009).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.1. Condiciones climáticas

El promedio diario de temperatura durante el ensayo fue 9,7 °C, con una temperatura máxima promedio de 15,7 °C y una temperatura mínima promedio de 3,7 °C. Las precipitaciones del período fueron 96,3 mm.

1.2. Análisis químico del concentrado y de la pastura seleccionada

Los animales fueron capaces de seleccionar una pastura de alta calidad en ambos niveles de oferta de forraje (Cuadro 1). La pastura seleccionada presentó un valor promedio de fibra detergente neutro (FDN) de 48,9%, tendiendo a aumentar a medida que avanzó el período experimental; y valores de energía metabolizable (EM) y proteína bruta (PB) de 12,7 MJ kg MS⁻¹ y 26,5 %, respectivamente. Estos valores son similares a los reportados por Balocchi *et al.* (2002) y Anrique *et al.* (2010) en una pradera permanente polifítica, en el mes de octubre.

El concentrado mostró niveles de EM y digestibilidad inferiores a la pastura utilizada (Cuadro 1). El efecto de la menor calidad del concentrado en relación a la pastura ofrecida, será discutido posteriormente en los capítulos relacionados con parámetros productivos, consumo de materia seca y tasa de sustitución.

Si bien es cierto que la modificación en la calidad del forraje ofrecido está estrechamente relacionada con la disponibilidad de forraje, debido a diferencias en el avance del estado fenológico de las especies constituyentes de la pastura y al aumento en la proporción de material senescente (Curran *et al.*, 2010), es esperable un efecto de la oferta de forraje sobre el forraje seleccionado por los animales.

Tharmaraj *et al.* (2003) obtuvieron un incremento significativo en el contenido de proteína bruta del forraje seleccionado por los animales, al aumentar la oferta de forraje de 35 a 70 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, determinando diferenciales de selección (relación entre la concentración de proteína en la dieta y la concentración de proteína en la pastura ofrecida) de 1,26 y 1,37, para las ofertas de 35 kg y 70 kg MS, respectivamente.

Bargo *et al.* (2002a), evaluaron el efecto de ofertar 25 y 40 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ y obtuvieron un aumento significativo ($P < 0,05$) en la proporción de carbohidratos no estructurales y en la digestibilidad del forraje consumido, como también una disminución en la fibra detergente ácido.

Según Tharmaraj *et al.* (2003), el efecto de la oferta de forraje sobre la composición de la dieta seleccionada por animales a pastoreo estaría relacionada con las características físicas de la pastura y la estructura de la canopia, las cuales contribuirían a modificar el área y/o el patrón de defoliación, lo que resultaría en diferencias en el consumo y selección de nutrientes.

En general se observa que, al aumentar la oferta de forraje, se incrementa la capacidad del animal para seleccionar una dieta de mayor valor nutritivo que el forraje ofertado. No obstante, se debe considerar que la eficiencia de utilización de la pastura disminuye al aumentar la oferta de forraje (Curran *et al.*, 2010; McEvoy *et al.*, 2008; Dalley *et al.*, 1999).

Cuadro 1. Manejo del pastoreo y análisis nutricional de la pastura colectada mediante el método “hand plucking” y del concentrado utilizado en el ensayo.

	Período del ensayo						Concentrado
	Inicio		Mitad		Final		
	Oferta de forraje						
	25 kg	45 kg	25 kg	45 kg	25 kg	45 kg	
Oferta de forraje efectiva (> 5 cm; kg MS an ⁻¹ día ⁻¹)	24,2	44,0	24,9	44,2	24,9	44,0	-----
Disponibilidad pre-pastoreo (kg MS ha ⁻¹)	2.003	2.003	2.043	2.087	1.925	1.822	-----
Disponibilidad post-pastoreo (kg MS ha ⁻¹)	1.245	1.523	1.232	1.362	1.326	1.328	-----
Utilización del forraje ofrecido (> 5 cm; %)	75,6	47,9	77,8	66,7	64,8	60,1	-----
Fibra detergente neutro (FDN; %)	48,5	46,2	49,7	48,8	51,1	49,5	34,0
Energía metabolizable (EM; MJ kg MS ⁻¹)	12,6	14,0	12,1	12,8	11,5	13,2	11,0
Energía bruta (EB; MJ kg MS ⁻¹)	19,4	19,6	19,2	19,3	18,0	19,7	18,4
Digestibilidad (%)	80,9	88,9	79,0	83,0	80,0	83,6	71,2 ¹
Proteína bruta (%)	21,4	24,1	20,8	24,3	24,7	25,3	18,1

¹ Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

1.3. Producción de leche y sólidos lácteos

No hubo efecto significativo de la oferta de forraje y el nivel de suplementación sobre la producción de leche ($P>0,05$). Para una oferta de 25 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, la producción de leche sin corregir fue 29,7 kg animal⁻¹ día⁻¹, mientras que para la oferta de 45 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ fue de 30,4 kg animal⁻¹ día⁻¹. Del mismo modo, los niveles productivos en relación al nivel de suplementación fueron muy similares (30,2, 28,8 y 31,2 kg animal⁻¹ día⁻¹, para los niveles de suplementación 0, 3 y 6 kg de concentrado, respectivamente).

No obstante, se presentó una interacción significativa ($P=0,036$) entre la oferta de forraje y el nivel de suplementación con concentrado, sobre la producción de leche sin corregir (Cuadro 2). Para los tratamientos sin suplementación, el aumento de la oferta de forraje provocó un incremento significativo en la producción de leche, con valores de 27,6 kg y 32,8 kg, para la oferta de forraje de 25 kg y 45 kg, respectivamente; sin embargo, este efecto no se reflejó al suplementar con concentrado. No se observaron efectos significativos ($P>0,05$) de la oferta de forraje y del nivel de suplementación sobre la producción de leche corregida por energía y sobre la producción de leche corregida al 4% de materia grasa.

Los resultados del presente ensayo son similares a los reportados por Ribeiro Filho *et al.* (2005), quienes observaron un aumento significativo en la producción de leche al aumentar la oferta diaria de forraje de 20 a 35 kg MS, en una pastura de ballica perenne y trébol blanco. Sin embargo, en diversos estudios destinados a analizar la interacción entre la oferta de forraje y el nivel de suplementación (Kennedy *et al.*, 2008; Horan *et al.*, 2005; Bargo *et al.*, 2002a), se ha reportado un aumento en la producción de leche en animales suplementados, independiente de la oferta de forraje asignada, respuesta que no fue observada en el presente ensayo.

En los trabajos mencionados, los animales utilizados fueron del biotipo Holstein Friesian americano, los cuales han sido sometidos a un esquema de selección que sólo considera el aumento en la producción de leche. De este modo, en sistemas basados en pastoreo directo y con una alta proporción de forraje en la dieta, animales de alto mérito genético no son capaces de consumir una mayor cantidad de forraje que un animal de menor mérito genético, por lo que la ventaja comparativa en la selección por producción de leche sólo se expresaría en dietas con alto nivel de concentrado (Kennedy *et al.*, 2003). Así, la selección por producción de leche generaría un incremento en la movilización de reservas corporales en la lactancia temprana, como también en la magnitud y duración del balance energético negativo (Buckley *et al.*, 2003).

Cuadro 2. Características productivas de vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación con concentrado.

Nivel de suplementación	Oferta de forraje						<i>P</i>			
	25 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹			45 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹			EED ¹	OF ²	OC ³	OFxOC ⁴
	0 kg	3 kg	6 kg	0 kg	3 kg	6 kg				
Producción de leche (kg d ⁻¹)	27,6	29,2	32,4	32,8	28,4	29,9	2,038	0,594	0,291	0,036
Producción de leche CE ⁵ (kg d ⁻¹)	28,7	30,2	29,8	33,0	28,6	31,9	1,962	0,166	0,497	0,124
Producción de leche 4% ⁶ (kg d ⁻¹)	28,3	29,5	29,1	33,1	27,8	30,9	1,955	0,150	0,358	0,088
Grasa láctea (g kg ⁻¹)	43,5	38,0	36,2	41,4	38,2	42,1	3,698	0,539	0,255	0,316
Proteína láctea (g kg ⁻¹)	37,4	36,3	35,8	34,2	36,9	39,3	1,703	0,760	0,374	0,041
Producción de grasa (kg d ⁻¹)	1,16	1,15	1,11	1,33	1,09	1,26	0,075	0,061	0,094	0,087
Producción de proteína (kg d ⁻¹)	1,01	1,11	1,11	1,11	1,06	1,18	0,085	0,402	0,385	0,411
Producción de grasa + proteína (kg d ⁻¹)	2,17	2,26	2,22	2,44	2,15	2,44	0,139	0,124	0,430	0,134

¹ Error estándar de la diferencia entre promedios.

² Efecto del factor principal oferta de forraje.

³ Efecto del factor principal nivel de suplementación.

⁴ Interacción entre los factores oferta de forraje y nivel de suplementación.

⁵ Producción de leche corregida por energía.

⁶ Producción de leche corregida al 4% de materia grasa.

En cambio, los criterios de selección utilizados en Nueva Zelanda están enfocados a disminuir el peso vivo de los animales y el volumen de leche (Harris, 1998), lo que provocaría que la energía adicional que es otorgada por la suplementación sea dirigida a la atenuación del balance energético negativo y a la mantención de condición corporal en lactancia temprana (80-100 días de lactancia), en desmedro de un aumento en la producción de leche (Horan *et al.*, 2005). Esto explicaría la diferencia obtenida en los resultados del presente ensayo y otros estudios similares.

Dado lo anterior, se podría plantear que en sistemas pastoriles de producción de leche, una baja oferta de forraje es suficiente para la alimentación de vacas lecheras en lactancia temprana, sin observar efectos negativos en la producción de leche de los animales, lo que coincidiría con lo planteado por Kennedy *et al.* (2008), quienes señalan que sólo sería necesario aumentar la oferta de forraje cuando los animales superan los 80 días de lactancia. No obstante, los mismos autores indican que en los primeros 80 días de lactancia, es necesario suplementar a los animales con niveles cercanos a los 4 kg de concentrado animal⁻¹ día⁻¹ para obtener una alta respuesta en producción de leche. Si bien es cierto que en el presente ensayo el efecto de la suplementación en la producción de leche no fue significativo, se observa una tendencia a respuestas positivas a la suplementación cuando la oferta de forraje es menor.

En base a lo planteado anteriormente, bajo un sistema estacional de producción de leche en pastoreo, la suplementación con concentrados sólo debiera ofrecerse hasta que el aporte energético del suplemento sea significativamente superior al aporte de energía del forraje ofrecido. Si el valor energético del concentrado es similar o inferior al del forraje ofrecido, como es el caso de este ensayo (Cuadro 1), la suplementación podría generar un consumo de energía inferior y, por tanto, no se obtendrían respuestas productivas.

El contenido y producción de grasa láctea no presentó variaciones entre tratamientos. En cambio, en el contenido de proteína láctea, existió interacción significativa ($P=0,041$) entre los factores oferta de forraje y nivel de suplementación. De este modo, para una oferta de forraje de 25 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, la suplementación no provocó una variación en el contenido de proteína de la leche; mientras que para una oferta de forraje de 45 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, la variación de 0 a 6 kg de concentrado provocó un aumento significativo de 14,9 % en el contenido de proteína en la leche (34,2 g kg⁻¹ a 39,3 g kg⁻¹, respectivamente). Dentro de un mismo nivel de suplementación, la oferta de forraje no presentó diferencias significativas en el contenido de proteína láctea. Tampoco hubo efecto ($P>0,05$) de la oferta de forraje y el nivel de suplementación, en la producción de proteína láctea y en la producción sumada de grasa y proteína (Cuadro 2).

El efecto de la oferta de forraje y el nivel de suplementación sobre el contenido y producción de sólidos lácteos, ha sido documentado en diferentes trabajos (Pulido *et al.*, 2010; Curran *et al.*, 2010; Stakelum *et al.*, 2007). En general, se ha observado que el aumento en la oferta de forraje no generaría una modificación en la concentración de grasa y proteína de la leche. Kennedy *et al.* (2008), al asignar tres niveles de oferta de forraje (13, 16 y 19 kg MS animal⁻¹ día⁻¹), no detectaron diferencias significativas en el contenido de grasa y proteína de la leche. En un ensayo en donde se utilizaron niveles de oferta de forraje de 16 y 20 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, la concentración de grasa fue 38,7 y 38,8 g kg⁻¹, respectivamente; mientras que, en el caso de la concentración de proteína, obtuvieron valores de 32,5 y 33,2 g kg⁻¹, respectivamente (Palladino *et al.*, 2009).

Con respecto al efecto de la suplementación, la mayoría de los estudios indican que el contenido de grasa en la leche disminuye al aumentar el nivel de concentrados (Bargo *et al.*, 2003). No obstante, hay estudios que indican que la suplementación con concentrados no afectaría la concentración de grasa láctea, lo que respaldaría los resultados obtenidos en el presente trabajo. Robaina *et al.* (1998), no encontraron diferencias significativas en el contenido de grasa al aumentar de 0 a 6 kg de concentrado al día. Similares resultados obtuvieron Dillon *et al.* (1997), al suplementar con 0, 2 y 4 kg animal⁻¹ día⁻¹ de concentrados, en un rango de oferta de forraje de 17 a 22 kg MS animal⁻¹ día⁻¹.

Si bien es cierto que, al aumentar el nivel de suplementación, se esperaría una baja relación acetato:propionato en el rumen, lo que generaría una disminución en la grasa de la leche (McEvoy *et al.*, 2009), debe considerarse que la relación acetato:propionato no dependerá exclusivamente del nivel de suplementación, sino también del contenido de fibra del forraje consumido (McEvoy *et al.*, 2009) y del tipo de suplemento utilizado (Bargo *et al.*, 2003), por lo que la comparación entre ensayos tendientes a evaluar el efecto de la suplementación sobre la composición láctea, debe realizarse con precaución.

La suplementación con concentrados incrementaría el contenido de proteína en la leche, lo que estaría relacionado con el aumento del consumo total de energía por parte de los animales (Bargo *et al.*, 2002a). Del mismo modo, Delaby *et al.* (2001) reportaron un incremento lineal en la proteína láctea con el incremento lineal en el nivel de suplementación, para vacas lecheras a pastoreo con diferentes niveles de asignación de forraje.

En el presente ensayo, la tasa de sustitución podría ser la causa que explicaría la disminución en la concentración de proteína, al aumentar el nivel de suplementación, con una oferta de forraje de 25 kg MS animal⁻¹ día⁻¹. Dado que, al aumentar el nivel de suplementación, la tasa de sustitución fue aumentando (Cuadro 7) y, considerando que el concentrado poseía una menor calidad que la pastura ofrecida (Cuadro 1), los animales consumieron una menor cantidad de energía (Cuadro 8) y proteína al aumentar el nivel de concentrado en la dieta. Este mismo factor podría explicar que no existiera respuesta al aumento en la oferta de forraje y el nivel de suplementación sobre las producciones de grasa y proteína, como también la posibilidad de que el potencial de producción de proteína se hubiera alcanzado y, por tanto, no era factible esperar una respuesta positiva (Stakelum *et al.*, 2007)

1.4. Peso vivo, cambio de peso y condición corporal

No se presentaron diferencias significativas en el peso vivo promedio de los animales, en el peso vivo final ni en la diferencia de peso (Cuadro 3). Con respecto al cambio de peso (Figura 1), hubo interacción ($P=0,05$) entre el nivel de suplementación y la oferta de forraje. Sin suplementación, el aumento de la oferta de forraje provocó una disminución en el cambio de peso de los animales, alcanzado valores de 1,42 kg día⁻¹ y 0,60 kg día⁻¹, para las ofertas de forraje de 25 y 45 kg MS, respectivamente. No se observaron diferencias en el cambio de peso de los animales, entre los niveles de suplementación dentro de un mismo nivel de oferta de forraje.

Los resultados del presente ensayo no coinciden con otros trabajos que han observado un aumento en el peso vivo de los animales, al incrementar la oferta de forraje y el nivel de concentrados. McEvoy *et al.* (2009) obtuvieron un aumento de 25 kg en el peso vivo de los animales, al modificar la oferta de forraje de 16 a 20 kg MS animal⁻¹ día⁻¹. En otro estudio, se observó un incremento de 24 kg al aumentar la asignación de forraje de 20 a 35 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ (Ribeiro Filho *et al.*, 2005). No obstante, se debe considerar que el aumento del peso vivo de los animales debe ser evaluado a largo plazo, debido a que las variaciones de peso en períodos experimentales menos prolongados (14 a 30 días) pueden deberse, en muchos casos, a la diferencia en el contenido ruminal de los animales y, por tanto, no serían atribuibles a una depositación o movilización de reservas corporales (Ribeiro Filho *et al.*, 2005). Si se analiza la diferencia de peso de los animales del presente ensayo (Cuadro 3), queda de manifiesto que el fenómeno observado se debería a una variación en el contenido ruminal, relacionado con el consumo de forraje en cada tratamiento (Cuadros 4 y 5).

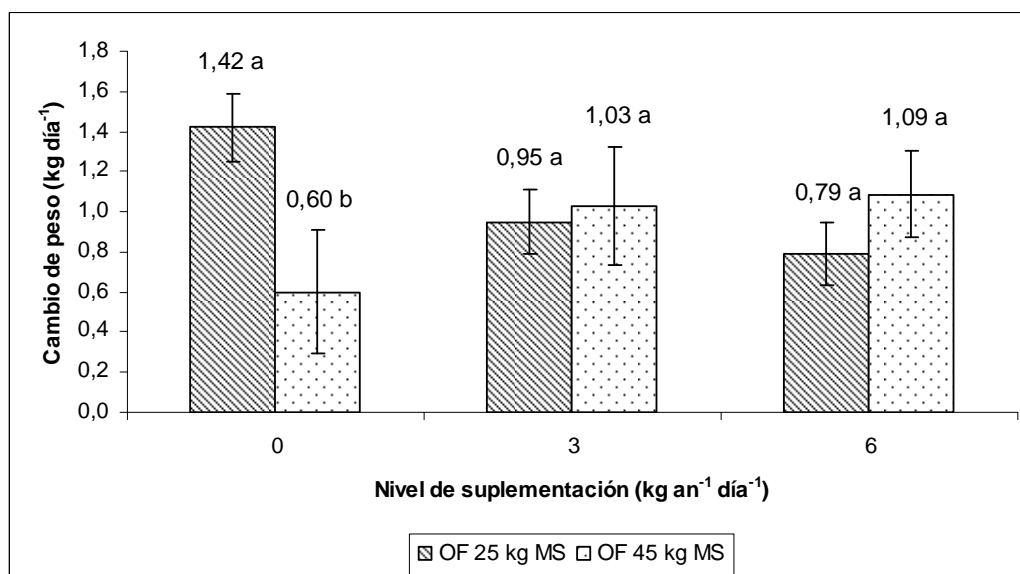
En estudios que consideran una temporada completa de pastoreo, se ha observado que existiría una relación positiva entre la oferta de forraje y el aumento de peso vivo de los animales, lo que estaría asociado a una dieta de mayor calidad y al aumento en el consumo de materia seca de los animales (McEvoy *et al.*, 2009; Machado *et al.*, 2006). Sin embargo, esta relación dependerá del nivel de oferta de forraje otorgado, ya que los efectos positivos sólo serían observables cuando la asignación de forraje más baja provoque una restricción importante en el consumo de materia seca (McEvoy *et al.*, 2008).

Cuadro 3. Peso vivo, diferencia de peso y condición corporal de vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

Nivel de suplementación	Oferta de forraje						EED	<i>P</i>		
	25 kg MS an ⁻¹ día ⁻¹			45 kg MS an ⁻¹ día ⁻¹				OF	OC	OFxOC
	0 kg	3 kg	6 kg	0 kg	3 kg	6 kg				
Peso vivo inicial (kg)	487,0	500,2	486,0	508,8	474,8	465,0	24,5	0,567	0,450	0,344
Peso vivo final (kg)	513,8	545,2	516,2	524,5	503,0	506,0	26,69	0,378	0,788	0,387
Peso vivo promedio (kg)	518,5	539,5	514,8	527,2	500,6	500,5	26,230	0,341	0,688	0,454
Diferencia de peso (kg)	26,8	45,0	30,3	15,8	28,2	41,0	11,29	0,396	0,127	0,219
Condición corporal ¹	2,71	3,00	2,85	2,94	3,27	3,04	0,127	0,006	0,010	0,899

¹ De acuerdo a escala (1-5).

En relación al efecto del nivel de suplementación sobre el peso vivo de vacas lecheras en lactancia temprana, se ha observado que, al aumentar la cantidad de concentrado suministrado a los animales, la ganancia de peso y el peso vivo promedio aumentarían en relación a tratamientos sin suplementación (McEvoy *et al.*, 2008). No obstante, otros trabajos indican que la suplementación no tendría efectos positivos en el peso vivo de los animales, con niveles de 0 a 6 kg de concentrados y diferentes alturas de utilización de la pastura (Pulido y Leaver, 2001).



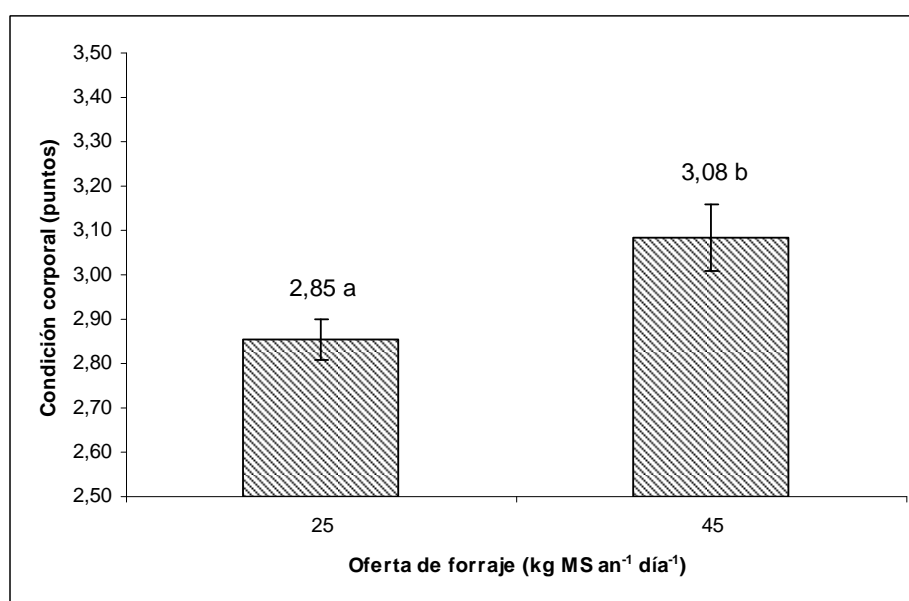
Letras distintas dentro de cada nivel de suplementación, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los niveles de oferta de forraje.

Figura 1. Cambio de peso en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

La diferente respuesta al nivel de suplementación entre ensayos sería resultado de la interacción entre el tipo de suplemento utilizado, el nivel de concentrados suministrado y las características de la pastura y sus criterios de utilización (altura o disponibilidad, oferta de forraje, estado fenológico, especies constituyentes) como también de características relacionadas con el animal (biotipo utilizado en el ensayo, etapa de la lactancia analizada, niveles de producción de los animales). Si bien es cierto que el efecto de la suplementación sobre el rendimiento productivo de los animales estaría relacionado con un aumento en la ingesta de energía metabolizable, se debe considerar que el nivel de respuesta a la suplementación dependerá, entre otros factores, de la calidad del forraje presente en la pastura. Si la calidad de la pastura ofrecida es similar a la del concentrado suministrado, la respuesta a la suplementación será menor, ya sea en producción de leche o en ganancia de peso (Machado *et al.*, 2006).

En el presente ensayo, el aumento en la ganancia de peso en el tratamiento de 25 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ de oferta de forraje y 0 kg de concentrado (Figura 1), en relación al tratamiento de 45 kg MS de oferta de forraje y 0 kg de suplementación, podría deberse al mayor consumo de materia seca en el tratamiento de menor asignación de forraje (Cuadro 5), como también a una mayor distribución de la energía consumida hacia producción de leche, en el caso del tratamiento con mayor oferta de forraje y sin suplementación (Cuadro 2).

La condición corporal mostró un cambio significativo según la oferta de forraje asignada ($P=0,006$) y según el nivel de suplementación ($P=0,01$) (Cuadro 3). Así, se observó que al ofertar 45 kg de MS aumentó la condición corporal en un 8 %, en relación a ofertar 25 kg de MS (3,08 y 2,85, respectivamente) (Figura 2). Del mismo modo, la suplementación con concentrados generó un aumento en la condición corporal, no obstante, sólo existieron diferencias significativas entre los niveles 0 y 3 de suplementación (2,82 y 3,14, respectivamente) (Figura 3).

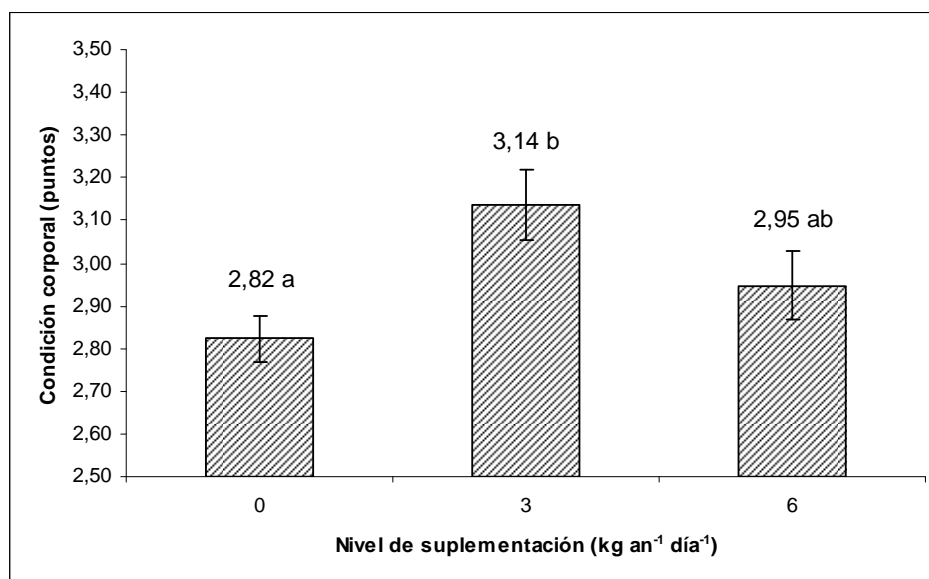


Letras distintas indican diferencias significativas ($P<0,05$).

Figura 2. Efecto de la oferta de forraje sobre la condición corporal de vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana.

El resultado obtenido en el presente ensayo coincide con otros trabajos que documentaron un incremento en la condición corporal al aumentar la oferta de forraje en lactancia temprana. McEvoy *et al.* (2008), al trabajar con ofertas de forraje de 17 y 21 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, obtuvieron un incremento en el promedio de condición corporal durante el período del ensayo y en la condición corporal al término del ensayo. Del mismo modo, observaron un efecto residual muy significativo ($P<0,0001$) de la oferta de forraje sobre la condición corporal en lactancia temprana.

En el ensayo realizado por Curran *et al.* (2010), el aumento en la oferta de forraje de 15 a 20 kg MS generó un incremento en la condición corporal al inicio de la temporada de pastoreo (2,68 y 2,80, respectivamente) y al término de esta (2,5 y 2,67, respectivamente), coincidiendo con lo señalado anteriormente.



Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Figura 3. Efecto del nivel de suplementación con concentrados sobre la condición corporal de vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana.

En otros trabajos (Kennedy *et al.*, 2008; Bargo *et al.*, 2002a), el aumento en la oferta de forraje no provocó un incremento en la condición corporal. No obstante, se observó un incremento significativo en la concentración de ácidos grasos no esterificados en plasma (uno de los indicadores del balance energético en escenarios pastoriles) en los tratamientos con menor asignación de forraje, lo que indicaría una mayor movilización de reservas corporales (Bargo *et al.*, 2002a). Una de las explicaciones que señalan los autores es que, al utilizar un diseño experimental de cuadrado latino, el efecto residual de los tratamientos con mayor oferta de forraje impediría observar el efecto inmediato de los tratamientos siguientes.

Dalley *et al.* (1999) indican que, para obtener un aumento en la condición corporal con vacas Holstein Friesian americanas en sistemas pastoriles, se requerirían ofertas de forraje superiores a 50 kg MS animal⁻¹ día⁻¹.

En relación a la suplementación con concentrados, Horan *et al.* (2005) señalan que, en vacas del biotipo Holstein Friesian americano manejadas en pastoreo, el aumento en la suplementación no provocaría un incremento en la condición corporal, sino un aumento en producción de leche. En cambio, en vacas Holstein Neozelandés, la suplementación generaría un incremento en la condición corporal en lactancia temprana, efecto que comienza a maximizarse en el nadir (punto de inflexión que corresponde al menor valor observado) de la curva de condición corporal durante la lactancia completa, lo que coincide con lo observado en el presente ensayo.

La diferente respuesta a la suplementación de energía adicional ha sido atribuida a diversos factores como el estado fisiológico del animal, la condición corporal y el potencial de producción de leche. Cuando un animal se aproxima al potencial de producción de leche, una mayor proporción de la energía adicional suministrada es retenida como reservas lipídicas (Broster *et al.*, 1985). En un sistema pastoril con una adecuada oferta de forraje, el biotipo Holstein Neozelandés alcanza una alta proporción de su potencial de producción de leche en base al consumo de forraje proveniente de la pastura, lo que estaría relacionado con la mantención e, incluso, el aumento de la condición corporal en lactancia temprana en este biotipo (Horan *et al.*, 2005). Así, este biotipo presentaría un balance energético menos negativo, al inicio de la lactancia, en relación al biotipo Holstein Friesian americano (McCarthy *et al.*, 2007a).

Como se mencionó anteriormente, la selección del biotipo Holstein Friesian americano se basa, principalmente, en la producción de leche (Dillon *et al.*, 2006) y, debido a que el incremento en el consumo de alimento para satisfacer los requerimientos no aumenta en la misma relación en que aumenta el potencial de producción de leche bajo este esquema de selección (van Arendonk *et al.*, 1991), los animales de este biotipo sufren una gran movilización de reservas corporales en lactancia temprana para mantener el nivel de producción de leche. La selección por producción de leche ha provocado que el biotipo Holstein Friesian americano presente un alto consumo de forraje total y una respuesta positiva a la suplementación con concentrados, mientras que los animales seleccionados en sistemas basados en pastoreo presentan el más alto consumo de materia seca de forraje por kilogramo de peso vivo (Horan *et al.*, 2006).

Así, vacas de alta producción presentarían un incremento en la condición corporal después de los 60 días de lactancia sólo si están sometidas a una alimentación con alto nivel de concentrados (sobre los 3 kg animal⁻¹ día⁻¹), mientras que animales del biotipo Holstein Neozelandés recuperan condición corporal, ya sea en sistemas exclusivamente basados en pastoreo como en sistemas con altos niveles de suplementación (McCarthy *et al.*, 2007b).

El elevado grado de pérdida de condición corporal en lactancia temprana, en vacas de alta producción individual en relación al biotipo Holstein Neozelandés, indica que gran parte de la producción de leche adicional que produce el biotipo Holstein Friesian americano proviene de la movilización de reservas corporales, lo que coincide con el trabajo realizado por Bargo *et al.* (2002a), en donde una baja oferta de forraje y sin suplementación, provocó una mayor concentración de ácidos grasos no esterificados.

No obstante, independiente del biotipo y del sistema de alimentación utilizado, los resultados señalan la ineffectividad de la inclusión de concentrados como un mecanismo para reducir la pérdida de condición corporal en los primeros 60 días de lactancia (McCarthy *et al.*, 2007b).

1.5. Consumo diario de materia seca

En relación al consumo estimado mediante la ecuación de Baker (1985), se observó que la oferta de forraje afectó el consumo total de materia seca y el consumo de materia seca de la pastura, expresadas en valor absoluto (Cuadro 4). El consumo de materia seca total disminuyó ($P=0,015$) al aumentar la oferta de forraje, alcanzando valores de 20,8 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ y 19,2 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, para las ofertas de 25 y 45 kg MS, respectivamente. Del mismo modo, el aumento de la oferta de forraje disminuyó ($P=0,027$) el consumo estimado de materia seca de la pastura de 17,9 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ a 16,4 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ (Figura 4). Por otra parte, el nivel de suplementación influyó en el consumo de concentrado, aumentando ($P<0,001$) a medida que el nivel de suplementación era mayor. En relación al efecto del nivel de suplementación sobre el consumo de materia seca de la pastura (Figura 5), se observó que al aumentar la suplementación con concentrados, disminuyó ($P<0,001$) el consumo de materia seca proveniente de la pastura, alcanzando valores de 19,6 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, 16,8 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ y 15,0 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, para los niveles de suplementación de 0, 3 y 6 kg, respectivamente.

La oferta de forraje no modificó ($P>0,05$) el consumo de materia seca, expresado por 100 kg PV y por PV^{0,75}. Sin embargo, la suplementación con concentrados provocó una disminución significativa ($P<0,001$) en el consumo de materia seca de la pastura, la cual tiende a ser mayor ($P=0,082$ y $P=0,071$; expresado en CMS/100 kg PV y g CMS/kg PV^{0,75}, respectivamente) para la oferta de forraje de 25 kg MS. Cabe destacar que, para todos los tratamientos, el consumo de materia seca fue superior al 3,4% del peso vivo de los animales.

Los resultados obtenidos con la ecuación de Baker (1985) son consistentes con otros trabajos que han reportado que, en condiciones pastoriles, el consumo de forraje puede alcanzar niveles cercanos al 3,6% del peso vivo en vacas en lactancia temprana (Kolver *et al.*, 2002). Cohen *et al.* (2000), reportaron niveles de consumo de 4,2% del peso vivo en vacas no suplementadas a las cuales se les asignó una alta oferta de forraje.

Mertens (1987), propone un modelo para estimar el consumo de MS, el cual es función de los requerimientos de energía de los animales y la capacidad física de llenado ruminal, expresada como un consumo máximo de FDN cercano al 1,2% del peso vivo del animal. Si se considera que, en el presente ensayo, la pastura presentó un promedio de 49% de FDN y los animales tuvieron un peso promedio de 517 kg, bajo el modelo propuesto por Mertens (1987), los animales deberían haber consumido 12,65 kg MS animal⁻¹ día⁻¹.

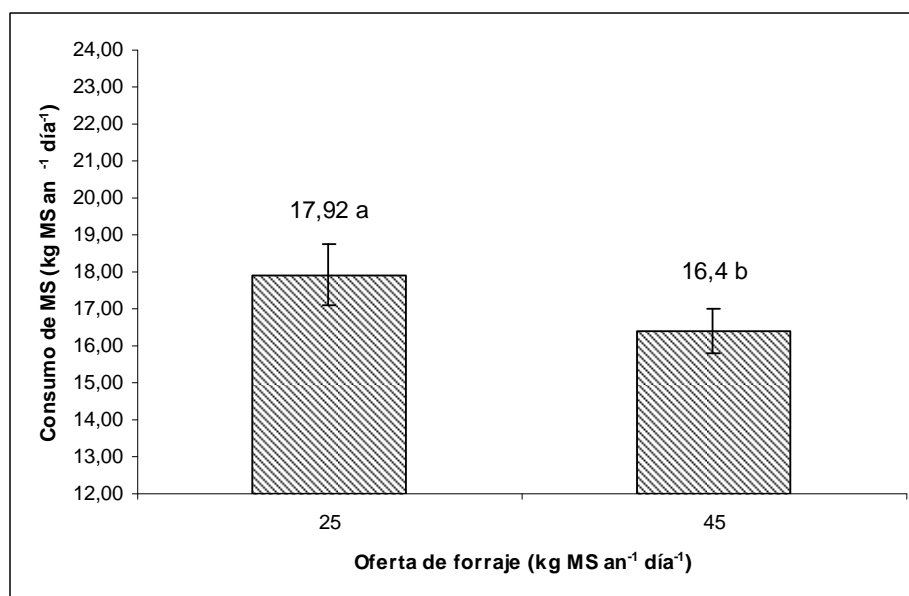
Kolver y Muller (1998) obtuvieron consumos de FDN cercanos al 1,5% del peso vivo del animal, en dietas basadas sólo en pastoreo, lo que reflejaría de mejor manera lo observado en el presente ensayo. No obstante, cabe destacar que el biotipo Holstein Neozelandés consumiría una mayor cantidad de MS por kg de peso vivo que otros biotipos de la raza Holstein (Horan *et al.*, 2006), lo que explicaría el mayor nivel de consumo observado en el presente ensayo (Cuadro 4), en relación a lo indicado por Mertens (1987) y Kolver y Muller (1998).

Esta característica le otorgaría ventajas al biotipo Holstein Neozelandés en un sistema pastoril de producción de leche, ya que el mayor consumo de MS por kg de peso vivo debiera, en teoría, resultar en una mayor producción de leche por kg de peso vivo (Horan *et al.*, 2006), lo que se traduciría en una eficiencia productiva superior en relación a otros biotipos en condiciones pastoriles.

Cuadro 4. Consumo diario de materia seca (CMS), estimado según ecuación de Baker (1985), de vacas Holstein Neozelandés a pastoreo sometidas a dos niveles de oferta de forraje y tres niveles de suplementación.

Nivel de suplementación	Oferta de forraje						EED	<i>P</i>		
	25 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹			45 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹				OF	OC	OFxOC
	0 kg	3 kg	6 kg	0 kg	3 kg	6 kg				
CMS total (kg MS d ⁻¹)	20,95	20,82	20,52	18,30	18,39	20,75	1,041	0,015	0,301	0,122
CMS concentrado (kg MS d ⁻¹)	0,00	2,72	5,80	0,00	2,86	5,39	0,192	0,426	<,001	0,134
CMS pastura (kg MS d ⁻¹)	20,95	18,10	14,72	18,30	15,53	15,36	1,090	0,027	<,001	0,077
CMS total/100 kg PV	4,05	3,86	4,00	3,46	3,70	4,17	0,269	0,240	0,175	0,159
CMS concentrado/100 kg PV	0,00	0,50	1,13	0,00	0,58	1,09	0,078	0,783	<,001	0,641
CMS pastura/100 kg PV	4,05	3,36	2,87	3,46	3,12	3,08	0,236	0,157	<,001	0,082
g CMS total/kg PV ^{0,75}	193,06	186,07	190,30	166,03	174,55	197,21	11,361	0,125	0,167	0,136
g CMS concentrado/kg PV ^{0,75}	0,00	24,30	53,82	0,00	27,14	51,66	3,206	0,905	<,001	0,552
g CMS pastura/kg PV ^{0,75}	193,06	161,77	136,48	166,03	147,40	145,56	10,452	0,091	<,001	0,071

Diversos estudios han demostrado que el aumento en la oferta de forraje incrementaría el consumo de MS en vacas a pastoreo (McEvoy *et al.*, 2009; McEvoy *et al.*, 2008; Bargo *et al.*, 2002a), existiendo una relación lineal positiva entre la oferta de forraje (en el rango de 20 a 70 kg MS) y el consumo de forraje (Dalley *et al.*, 1999). No obstante, esta relación fue negativa en el presente ensayo (Figura 4).



Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

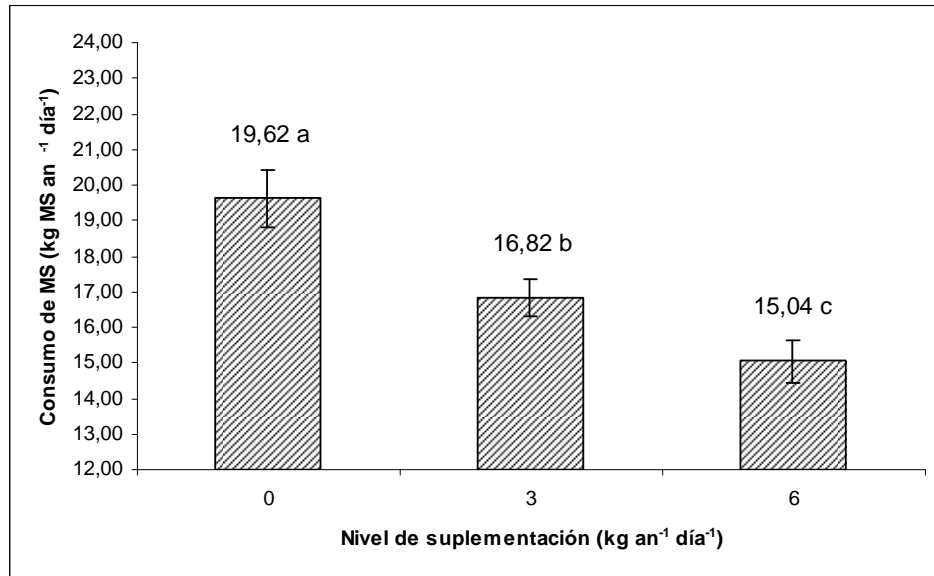
Figura 4. Efecto de la oferta de forraje sobre el consumo de materia seca de pastura de vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana, en base a la ecuación de Baker (1985).

Esto podría deberse a que una mayor oferta de forraje provee una canopia desde la cual las vacas pueden seleccionar y consumir un bocado con una mayor proporción de hojas, lo que incrementaría las características nutritivas de la dieta, en comparación a las vacas que pastorean una pastura con menor oferta de forraje (Tharmaraj *et al.*, 2003). Así, los animales seleccionarían una dieta de mejor calidad y, por tanto, requerirían una menor cantidad de MS ingerida para obtener el mismo nivel de ingestión de nutrientes y energía que animales sometidos a una menor asignación de forraje.

Según McEvoy *et al.* (2008), incluso en óptimos escenarios de manejo y condiciones climáticas, la disponibilidad de forraje es limitada en primavera, lo que implica que los animales requieren un apoyo estratégico de suplementos energéticos durante este período. Así también, Bargo *et al.* (2003) señalan que si el objetivo es maximizar el consumo de forraje proveniente de la pastura con vacas de alta producción, el manejo debiera asegurar una cantidad y calidad no restrictiva de pastura, lo que sólo se logra en períodos muy acotados durante la primavera. Esto conlleva la necesidad de suplementar con concentrados o con otros suplementos disponibles para alcanzar una alta producción de leche.

La inclusión de concentrados en la dieta de vacas lecheras ha mostrado aumentar el consumo de materia seca total en relación a dietas exclusivamente en base a pastoreo directo (Delaby *et al.*, 2001; Stockdale, 2000b), incrementando el consumo de energía y mejorando el balance energético (Coffey *et al.*, 2004). Kennedy *et al.* (2008) obtuvieron un aumento de 2,9 kg en el consumo de MS total en vacas lecheras a los 80 días de lactancia, al incrementar de 0 a 4 kg el nivel de suplementación. Similares resultados obtuvieron McEvoy *et al.* (2008) y Curran *et al.* (2010), con niveles de suplementación hasta los 6 kg. En el presente ensayo, la suplementación con concentrados no aumentó el consumo de MS total (Cuadro 4) debido, probablemente, al elevado valor nutritivo de la pastura seleccionada por los animales (Cuadro 1).

Sin embargo, a causa del fenómeno de sustitución, los animales que consumen concentrado, consumirían una menor cantidad de forraje proveniente de la pastura. Según McEvoy *et al.* (2008), la suplementación con 6 kg de concentrados tuvo un efecto significativo sobre el consumo de MS de la pastura, el cual disminuyó de 14,7 a 12,9 kg en relación a vacas lecheras que no fueron suplementadas, con ofertas de forraje en el rango de 13 a 17 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, lo que coincide con lo observado en el presente trabajo (Figura 5).



Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Figura 5. Efecto del nivel de suplementación con concentrados sobre el consumo de materia seca (CMS) de pastura de vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana, en base a la ecuación de Baker (1985).

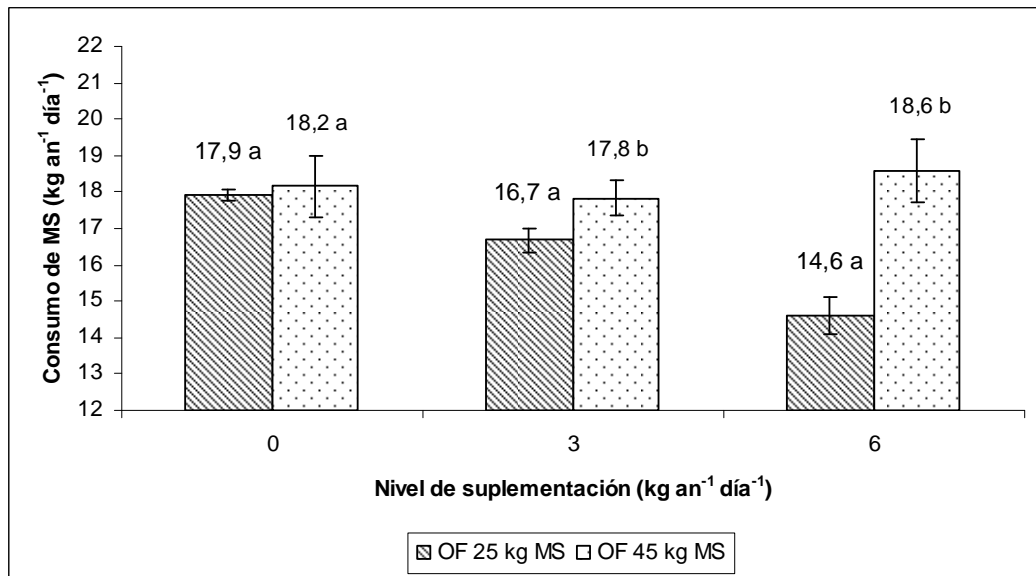
El consumo de materia seca proveniente de la pastura (Cuadro 5), obtenido mediante las ecuaciones de Vazquez y Smith (2000) y Caird y Holmes (1986), presentó interacción entre los niveles de oferta de forraje y nivel de suplementación.

Según la ecuación propuesta por Vazquez y Smith (2000), la suplementación con 3 y 6 kg de concentrado, generó una disminución ($P=0,013$) en el consumo de materia seca proveniente de la pastura, al ofertar una menor cantidad de forraje (Figura 6). Al suplementar con 3 kg de concentrado, el consumo de materia seca de la pastura fue 16,7 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ y 17,8 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, para las ofertas de 25 kg y 45 kg, respectivamente; mientras que al suplementar con 6 kg de concentrado, el consumo de materia seca de la pastura fue 14,6 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ y 18,6 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, para las ofertas de 25 kg y 45 kg, respectivamente. No se observó diferencias significativas en el consumo de materia seca de la pastura al comparar los niveles de oferta de forraje sin suplementación.

Cuadro 5. Consumo diario de pastura de vacas Holstein Neozelandés a pastoreo, estimado según ecuaciones de Vazquez y Smith (2000) (CMS_{VZ}) y Caird y Holmes (1986) ($CMO_{C\&H}$).

Nivel de suplementación	Oferta de forraje						EED	<i>P</i>			
	25 kg MS an ⁻¹ día ⁻¹			45 kg MS an ⁻¹ día ⁻¹				OF	OC	OFxOC	
	0 kg	3 kg	6 kg	0 kg	3 kg	6 kg					
CMS_{VZ} pastura (kg MS d ⁻¹)	17,92	16,68	14,60	18,16	17,83	18,57	0,8256	0,001	0,069	0,013	
$CMO_{C\&H}$ pastura ¹ (kg MS d ⁻¹)	17,94	17,29	15,46	21,58	16,33	12,84	0,7158	0,974	<,001	<,001	

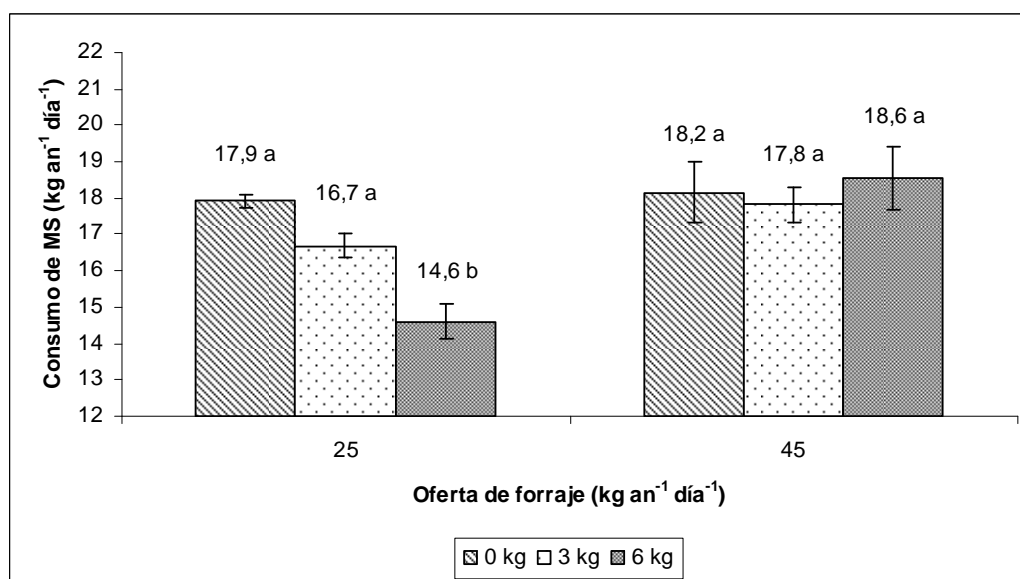
¹ Consumo de materia orgánica



Letras distintas dentro de cada nivel de suplementación, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los niveles de oferta de forraje.

Figura 6. Consumo de materia seca proveniente de la pastura, estimado según ecuación de Vazquez y Smith (2000), en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

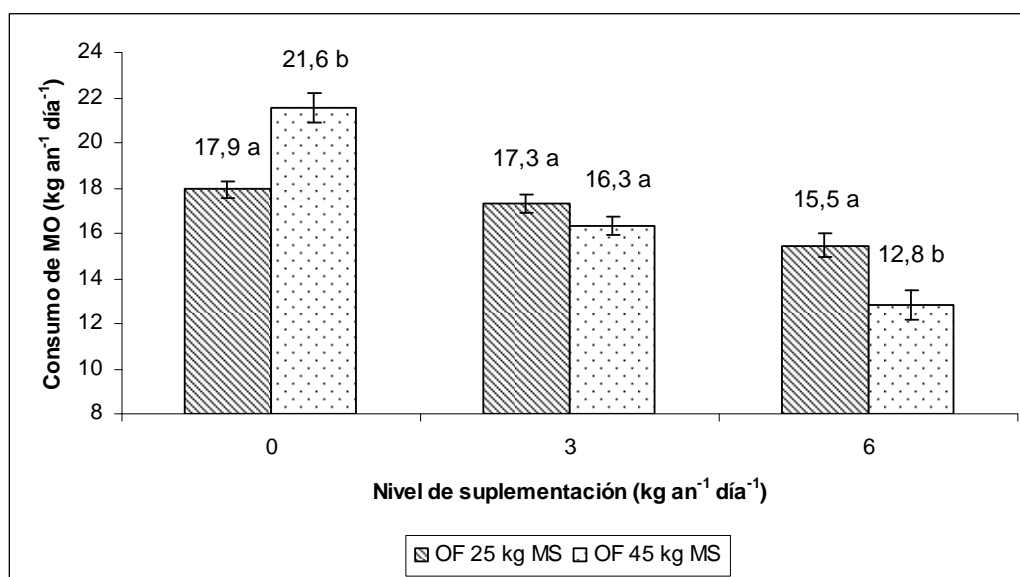
Cuando se comparan los distintos niveles de suplementación dentro de la misma oferta de forraje (Figura 7), es posible observar que en la oferta de 25 kg, la suplementación con 6 kg de concentrado generó una disminución significativa ($P<0,05$) en el consumo de materia seca de la pastura. En la oferta de forraje de 45 kg, el consumo de materia seca de la pastura fue similar ($P>0,05$) para los diferentes niveles de suplementación.



Letras distintas dentro de cada nivel de oferta de forraje, indican diferencias significativas ($P<0,05$) entre los niveles de suplementación.

Figura 7. Consumo de materia seca proveniente de la pastura, estimado según ecuación de Vazquez y Smith (2000), en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

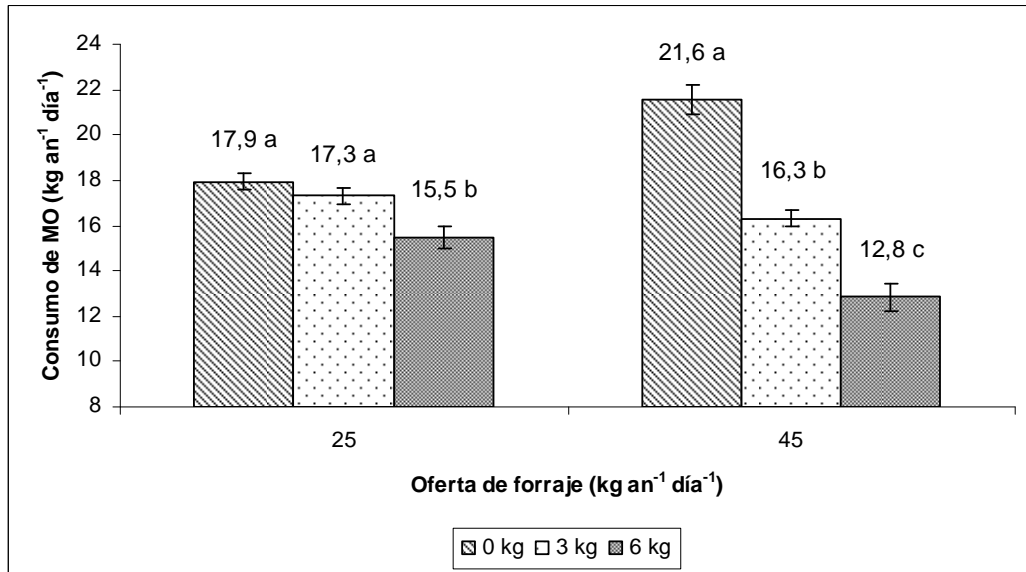
Según la ecuación propuesta por Caird y Holmes (1986), el consumo estimado de materia orgánica de la pastura, dentro de un mismo nivel de suplementación, presentó diferencias significativas ($P<0,001$) entre las ofertas de forraje de 25 y 45 kg MS, en los niveles 0 y 6 kg de concentrado (Figura 8). Así, al aumentar la oferta de forraje sin recibir suplementación, el consumo de materia seca proveniente de la pastura aumentó de 17,9 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ a 21,6 kg MO animal⁻¹ día⁻¹; mientras que, al suplementar con 6 kg de concentrado, el aumento de la oferta de forraje generó una disminución en el consumo estimado de MO desde 15,5 kg MO animal⁻¹ día⁻¹ a 12,8 kg MO animal⁻¹ día⁻¹.



Letras distintas dentro de cada nivel de suplementación, indican diferencias significativas ($P<0,05$) entre los niveles de oferta de forraje.

Figura 8. Consumo de materia orgánica proveniente de la pastura, estimado según ecuación de Caird y Holmes (1986), en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

Cuando se comparan los distintos niveles de suplementación dentro de la misma oferta de forraje (Figura 9), es posible observar que en la oferta de 25 kg, la suplementación con 6 kg de concentrado generó una disminución en el consumo de materia orgánica de la pastura. En la oferta de forraje de 45 kg, el consumo de materia orgánica de la pastura fue diferente ($P<0,001$) para los diferentes niveles de suplementación. Así, a medida que aumentó el nivel de concentrado en la dieta, el consumo de materia orgánica proveniente de la pastura disminuyó desde 21,6 kg MO animal⁻¹ día⁻¹ a 16,3 kg MO animal⁻¹ día⁻¹ y 12,8 kg MO animal⁻¹ día⁻¹, para los niveles de suplementación de 3 y 6 kg, respectivamente.



Letras distintas dentro de cada nivel de oferta de forraje, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los niveles de suplementación.

Figura 9. Consumo de materia orgánica proveniente de la pastura, estimado según ecuación de Caird y Holmes (1986), en vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

El resultado obtenido con la ecuación de Vazquez y Smith (2000), coincide con lo reportado en otros ensayos, en donde se ha observado un aumento en el consumo de MS proveniente de la pastura al aumentar la asignación de forraje. En el trabajo de Tharmaraj *et al.* (2003), el aumento de la oferta de forraje de 30 a 70 kg MS provocó un incremento significativo en el consumo de MS (12,6 y 17,9 kg MS animal⁻¹ día⁻¹, respectivamente). Similares resultados obtuvieron Kennedy *et al.* (2008), en donde el aumento de la oferta de forraje desde 13 a 16 y 19 kg MS incrementó el consumo de MS de 14,3 a 16,1 kg, en vacas a los 80 días de lactancia. En base a lo observado, queda de manifiesto que las posibilidades de incrementar el consumo de forraje de la pastura al aumentar la oferta de forraje, son limitadas. Por ello, encontrar el correcto balance entre la oferta de forraje y el nivel de suplementación con concentrados, será beneficioso en términos de la respuesta productiva de los animales como también en los aspectos relacionados con la eficiencia de utilización de la pastura (McEvoy *et al.*, 2008)

Al igual que en el presente ensayo, Bargo *et al.* (2002a) obtuvieron interacción significativa ($P < 0,05$) entre la oferta de forraje (25 y 40 kg MS) y el nivel de suplementación (0 y 8,6 kg), en donde el consumo de MS de la pastura aumentó al incrementar la oferta de forraje, mientras que la suplementación con concentrados generó una disminución en la misma variable, resultado que, en el presente ensayo, se obtuvo en la oferta de forraje de 25 kg MS y 6 kg de suplementación con la ecuación de Vazquez y Smith (2000) (Figura 7) y en ambos niveles de oferta de forraje con la ecuación de Caird y Holmes (1986) (Figura 9).

Como se mencionó en párrafos anteriores, la respuesta al aumento de la oferta de forraje y el nivel de suplementación dependerá, entre otros factores, de la calidad del concentrado y forraje ofrecido, por lo que el efecto de estos factores sobre el consumo de MS puede variar entre ensayos. Según Stakelum y Dillon (2007), la relación entre la asignación de forraje y el consumo de MS de la pastura dependerá de la oferta que está siendo comparada, la disponibilidad de forraje utilizada y el nivel productivo de los animales.

En el modelo propuesto por Vazquez y Smith (2000), los autores indican que la oferta de forraje estaría estrechamente relacionada con el consumo de forraje de la pastura, lo que permitiría utilizar esta ecuación para estimar consumo de MS cuando la asignación de forraje sea una variable utilizada en el manejo del pastoreo. La ecuación de Caird y Holmes (1986) tiende a presentar valores mayores de consumo en relación a la ecuación propuesta por Vazquez y Smith (2000), excepto para ofertas de forraje superiores a 40 kg MS y niveles superiores a 4 kg de suplementación, debido a los coeficientes negativos que presentan estas variables en la ecuación, los cuales consideran el efecto de sustitución. Por otra parte, la ecuación de Caird y Holmes (1986) no incluye como variables el cambio de peso vivo, el porcentaje de FDN del forraje y la contribución de leguminosas en la composición botánica, lo que explicaría la diferencia en la estimación de consumo observada en el presente ensayo.

Dado que las características del animal consideradas por la ecuación de Vazquez y Smith (2000) representan más del 71% de la variabilidad en el consumo de materia seca, se puede postular que en sistemas pastoriles para un determinado nivel de producción, el consumo de materia seca puede ser estimado con un grado razonable de precisión en base a las características del animal, siempre y cuando la disponibilidad de forraje no sea limitante.

Al comparar los distintos métodos para estimar consumo de materia seca (Cuadro 6), se puede observar que la correlación existente entre el método de estimación de consumo basado en los requerimientos energéticos del animal y las ecuaciones propuestas por Vazquez y Smith (2000) y Caird y Holmes (1986), es media ($r=0,499$ y $r=0,578$, respectivamente). Si se comparan ambas ecuaciones, se observa que el coeficiente de correlación no difiere de cero ($r=0,206$), lo que podría explicarse por los parámetros que cada ecuación de estimación considera para el cálculo de consumo de materia seca.

Cuadro 6. Matriz de correlaciones para la variable consumo de materia seca de pastura.

	CMS _{V&S}	CMO _{C&H}	CMS _{Baker}
CMS _{V&S}	1,000	0,206 ^{NS}	0,499
CMO _{C&H}		1,000	0,578
CMS _{Baker}			1,000

^{NS} Coeficiente de correlación no difiere de 0, con $P < 0,05$

Según Caird y Holmes (1986), la estimación de consumo basado en los requerimientos de EM de los animales entregaría una predicción menos precisa en relación a la ecuación planteada en su trabajo, debido a la dificultad de cuantificar el gasto energético relacionado con la actividad de pastoreo. Si bien es cierto las ecuaciones propuestas por AFRC (1993) consideran que el gasto energético de mantención tiene un componente ligado a la actividad realizada por el animal, el cálculo está basado fundamentalmente en vacas lecheras que se encuentran en sistemas en confinamiento, por lo que no necesariamente refleja el gasto energético adicional involucrado en el desplazamiento para obtener el alimento en vacas a pastoreo. No obstante, esta metodología es útil cuando se desean comparar diferentes biotipos bajo el mismo manejo de pastoreo.

De este modo, la estimación de consumo de MS en pastoreo continua siendo poco precisa (Bargo *et al.*, 2003). El método clásico para determinar consumo en pastoreo es el denominado método de corte, que involucra la disponibilidad pre y post-pastoreo, siendo la diferencia más la corrección por crecimiento, una estimación del forraje consumido en el área pastoreada. Es útil cuando se trabaja con períodos cortos de pastoreo, pero sirve sólo para estimar consumo grupal y no consumo individual (Smit *et al.*, 2005).

1.6. Tasa de sustitución

La tasa de sustitución (Cuadro 7) presentó interacción entre los niveles de oferta de forraje y nivel de suplementación. La tasa de sustitución en base a los consumos de MS obtenidos con la ecuación de Baker (1985), no presenta diferencias significativas al suplementar con 3 o 6 kg de concentrados, con la oferta de forraje de 25 kg MS. No obstante, al aumentar la oferta de forraje a 45 kg MS, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con suplementación (0,97 kg kg⁻¹ y 0,54 kg kg⁻¹, para una suplementación de 3 y 6 kg, respectivamente). Para las tasas de sustitución en base a los consumos de MS obtenidos mediante las ecuaciones de Caird y Holmes (1986) y Vazquez y Smith (2000), no se observaron diferencias significativas al comparar los diferentes niveles de suplementación dentro de la misma oferta de forraje. Sin embargo, cabe destacar que la tasa de sustitución aumenta al incrementar la oferta de forraje, en el caso de los valores obtenidos con la ecuación de Caird y Holmes (1986), y disminuye con los consumos obtenidos con la ecuación de Vazquez y Smith (2000), siendo la suplementación de 6 kg de carácter aditivo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Tasa de sustitución en vacas lecheras a pastoreo, con dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación con concentrados, según consumo de materia seca obtenido con las ecuaciones de Baker (1985), Caird y Holmes (1986) y Vazquez y Smith (2000).

Nivel de suplementación	Oferta de forraje						EED	<i>P</i>		
	25 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹			45 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹				OF	OC	OFxOC
	0 kg	3 kg	6 kg	0 kg	3 kg	6 kg				
Tasa de sustitución Baker (kg kg ⁻¹)	-----	1,04	1,08	-----	0,97	0,54	0,1412	0,022	<,001	0,031
Tasa de sustitución C&H (kg kg ⁻¹)	-----	0,24	0,43	-----	1,84	1,62	0,1372	<,001	<,001	<,001
Tasa de sustitución VZ (kg kg ⁻¹)	-----	0,45	0,57	-----	0,11	-0,10	0,1574	0,002	0,046	0,025

Las tasas de sustitución observadas en el presente ensayo son mayores que las reportadas en la mayoría de los estudios que han analizado la interacción entre el nivel de suplementación y la oferta de forraje. En el trabajo realizado por Robaina *et al.* (1998), la tasa de sustitución con un nivel de suplementación de 5 kg al ofertar 42,3 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ fue de 0,57 kg kg⁻¹, mientras que al ofertar 20 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ fue de 0,31 kg kg⁻¹. Kennedy *et al.* (2008), observaron tasas de sustitución en el rango de 0,27 a 0,46 kg kg⁻¹, con ofertas de forraje de 13 a 19 kg MS y 4 kg de concentrado, valores similares a las tasas de sustitución observadas en el presente ensayo, según las ecuaciones de Vazquez y Smith (2000) y Caird y Holmes (1986).

Diversos factores relacionados con el animal, con las características de la pastura y del suplemento utilizado, afectan la tasa de sustitución. Entre los más relevantes se encuentran la cantidad de suplemento utilizado, las propiedades físicas y químicas del concentrado, la etapa de la lactancia, la digestibilidad de la pastura y la oferta de forraje (Kellaway y Porta, 1993), siendo éste factor el que poseería el mayor efecto sobre la tasa de sustitución en condiciones pastoriles (Bargo *et al.*, 2002a). Diversos estudios han señalado que la tasa de sustitución aumenta a medida que se incrementa la asignación de forraje (Tozer *et al.*, 2004; Robaina *et al.*, 1998), para un mismo nivel de suplementación.

Bargo *et al.* (2002a), realizando un resumen de diferentes trabajos que relacionan el efecto de la oferta de forraje sobre la tasa de sustitución, observaron que con bajas ofertas de forraje (7,6 a 22,2 kg MS animal⁻¹ día⁻¹), la tasa de sustitución promedio fue 0,19 kg kg⁻¹ (en un rango de 0 a 0,31 kg de disminución en el consumo de forraje/kg de concentrado consumido), mientras que con altas ofertas de forraje (24 a 42,3 kg MS animal⁻¹ día⁻¹), la tasa de sustitución promedio fue 0,58 kg kg⁻¹ (en un rango de 0,43 a 0,69 kg kg⁻¹).

En un ensayo realizado con novillos Angus, la tasa de sustitución se incrementó linealmente con el aumento en la oferta de forraje siendo, en promedio, 0,7 kg kg⁻¹, con ofertas de forraje de 7, 14 y 21 kg MS y 1,4 kg de suplementación con concentrados (Machado *et al.*, 2006).

En el presente ensayo, la interacción significativa entre la oferta de forraje y el nivel de suplementación, obtenida con los consumos de MS estimados mediante la ecuación de Baker (1985), fue generada, fundamentalmente, por la tasa de sustitución observada en el tratamiento de 45 kg MS de asignación de forraje y 6 kg de concentrado (Cuadro 7). Dadas las características de este tratamiento, era esperable que presentara la tasa de sustitución más elevada, no obstante, fue la de menor valor entre los tratamientos analizados. Kellaway y Porta (1993), sugieren que la tasa de sustitución aumenta con el nivel de concentrados. Sin embargo, en el trabajo de Stockdale y Trigg (1985), con una oferta de 26 kg MS, la tasa de sustitución fue disminuyendo a medida que aumentaba la suplementación con concentrados (0,94 kg kg⁻¹, 0,43 kg kg⁻¹ y 0,3 kg kg⁻¹ para niveles de suplementación de 1,8 kg, 3,5 kg y 6,2 kg de concentrado, respectivamente).

Si bien es cierto se podría esperar un aumento en la digestibilidad total de la dieta con la inclusión de concentrados, debido a que usualmente éstos poseen una mayor digestibilidad que la pastura (Bargo *et al.*, 2003), la interacción entre la digestión de concentrados y forraje proveniente de la pastura podría generar efectos negativos (disminución en la tasa de degradación de la MS; disminución del pH ruminal, con el consiguiente efecto negativo sobre la población celulolítica en el rumen), lo que podría explicar la alta variabilidad observada en la tasa de sustitución, tanto en el presente ensayo como en los trabajos analizados (Bargo *et al.*, 2002a).

Según Machado *et al.* (2006), las comparaciones de tasas de sustitución obtenidas en diferentes trabajos deben ser realizadas con precaución, ya que el valor de sustitución obtenido dependerá del método de estimación de consumo, como también de la metodología utilizada para estimar la tasa de sustitución. Así también, los efectos del nivel de suplementación sobre la sustitución de la pastura son variables, debido a las limitaciones en la precisión de la estimación de consumo en sistemas pastoriles y las diferencias entre experimentos en el nivel de consumo de la pastura (Robaina *et al.*, 1998).

Faverdin *et al.* (1991), concluyeron que la tasa de sustitución en vacas lecheras estaría relacionada con el estado energético del animal en un momento determinado. Si el animal está sub-alimentado, el suministro de concentrados sólo afectará ligeramente el consumo de la pastura, mejorando considerablemente el balance energético del animal, lo que resultaría en un incremento de la producción de leche, de la concentración de proteína en la leche y, simultáneamente, en un aumento en la ganancia de peso vivo (Coulon y Rémond, 1991).

En el trabajo realizado por Horan *et al.* (2006), el biotipo Holstein Neozelandés presentó una mayor tasa de sustitución ($0,51 \text{ kg kg}^{-1}$) que el biotipo Holstein americano ($0,19 \text{ kg kg}^{-1}$). Los mismos autores señalan que, con bajos niveles de sustitución, el 60% de la energía adicional otorgada con la suplementación es utilizada para producción de leche, lo que coincide con lo señalado por Bargo *et al.* (2002a).

Las altas tasas de sustitución observadas en el biotipo Holstein Neozelandés indicarían que este biotipo presenta un balance energético superior en pastoreo, en relación a otros biotipos de la raza Holstein. Dado esto, la energía adicional entregada con el concentrado sería direccionada, fundamentalmente, a incremento de peso y ganancia de condición corporal (Horan *et al.*, 2006), como ya fue mencionado anteriormente.

De este modo, el nivel productivo de los animales en este ensayo estuvo directamente relacionado con la tasa de sustitución y la ingestión de energía metabolizable (Cuadro 8). Si se analiza la tasa de sustitución obtenida con el consumo de MS estimado mediante la ecuación de Baker (1985) (Cuadro 7) se observa que, al aumentar la tasa de sustitución, la ingestión de EM fue disminuyendo (Cuadro 8), aún cuando este efecto no fue estadísticamente significativo ($P>0,05$). Por otra parte, el tratamiento de 45 kg MS de oferta de forraje y 6 kg de concentrado presentó la menor tasa de sustitución y, por consiguiente, la mayor ingestión de energía.

Por tanto, el consumo de EM es, en definitiva, el resultado del efecto conjunto de la tasa de sustitución y de los diferentes contenidos de EM del concentrado y de la pastura.

Cuadro 8. Consumo de energía metabolizable en vacas lecheras a pastoreo, con dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación con concentrados, según ecuaciones propuestas por AFRC (1993).

Nivel de suplementación	Oferta de forraje						EED	<i>P</i>		
	25 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹			45 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹				OF	OC	OFxOC
	0 kg	3 kg	6 kg	0 kg	3 kg	6 kg				
Consumo de EM _{past} ¹ (MJ an ⁻¹ d ⁻¹)	252,7	218,3	177,4	243,6	206,8	204,6	14,0	0,792	<,001	0,119
Consumo de EM _{conc} ² (MJ an ⁻¹ d ⁻¹)	0,0	29,9	63,8	0,0	31,5	59,3	2,107	0,426	<,001	0,134
Consumo de EM total (MJ an ⁻¹ d ⁻¹)	252,7	248,2	241,2	243,6	238,3	263,9	13,43	0,882	0,624	0,176

¹ Consumo de energía metabolizable proveniente de la pastura.

² Consumo de energía metabolizable proveniente del concentrado.

1.7. Eficiencia de conversión, eficiencia energética y respuesta en producción de leche

En relación a la respuesta en producción de leche (Cuadro 9), se observó que, para una oferta de forraje de 25 kg MS, la suplementación con concentrados genera una respuesta positiva en producción de leche de 0,61 y 0,84 kg de leche por kg de suplemento consumido, para el nivel de 3 y 6 kg de concentrados, respectivamente. Al ofertar 45 kg MS de forraje, la suplementación con concentrados generó una respuesta negativa en producción de leche (-1,53 y -0,53 kg de leche por kg de concentrado consumido, para los niveles de suplementación de 3 y 6 kg, respectivamente).

No se observaron diferencias significativas ($P>0,05$) en el contenido energético de la leche y en la valorización energética de la producción diaria de leche entre los distintos tratamientos (Cuadro 9).

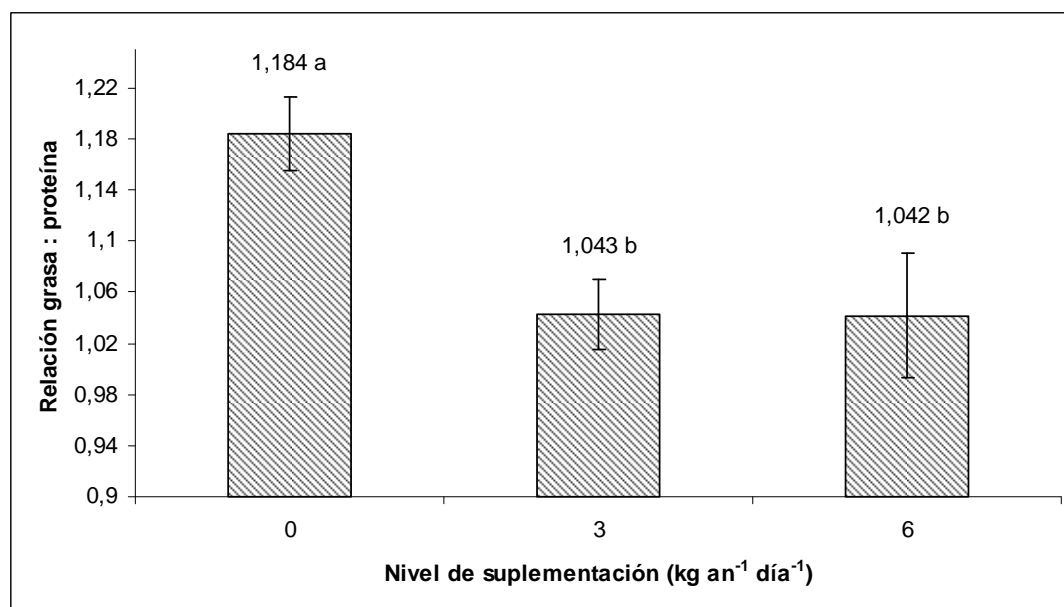
Cuadro 9. Respuesta en producción de leche, relación grasa:proteína, contenido energético de la leche y valorización energética de la producción diaria de leche de vacas Holstein Neozelandés sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

Nivel de suplementación	Oferta de forraje						EED	<i>P</i>		
	25 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹			45 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹				OF	OC	OFxOC
	0 kg	3 kg	6 kg	0 kg	3 kg	6 kg				
Respuesta en producción de leche (kg kg ⁻¹) ¹	-----	0,61	0,84	-----	-1,53	-0,53	-----	-----	-----	-----
Respuesta en producción de leche (kg kg ⁻¹) ²	-----	-----	-----	0,26	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Relación grasa:proteína	1,16	1,05	1,01	1,21	1,04	1,07	0,0769	0,465	0,026	0,812
Contenido energético de la leche (MJ kg ⁻¹)	3,36	3,14	3,06	3,22	3,16	3,35	0,1638	0,557	0,464	0,190
Valorización energética de la producción diaria (MJ d ⁻¹)	90,37	95,48	94,29	104,48	90,33	100,59	6,291	0,178	0,514	0,122

¹ Expresado como respuesta total (incremento en kilogramos de leche por kilogramo de suplemento consumido, en relación al tratamiento sin suplementación).

² Expresado como respuesta total (incremento en kilogramos de leche por kilogramo de forraje extra ofertado, en relación al tratamiento con oferta de 25 kg MS an⁻¹ día⁻¹).

La relación grasa:proteína disminuyó significativamente ($P=0,026$) al suplementar con concentrados (Figura 10), no existiendo diferencias entre los niveles de suplementación de 3 y 6 kg. Así, la relación grasa:proteína fue de 1,184; 1,043 y 1,042 para los niveles de suplementación de 0, 3 y 6 kg de concentrado, respectivamente; lo cual se explicaría por la menor movilización de reservas corporales y una mayor síntesis proteica en el rumen.



Letras distintas indican diferencias significativas ($P<0,05$).

Figura 10. Efecto del nivel de suplementación con concentrados sobre la relación grasa:proteína en vacas Holstein Neozelandés en lactancia temprana.

La relación grasa:proteína de la leche refleja el balance energético de una vaca, siendo un parámetro de fácil medición para detectar animales con problemas nutricionales en lactancia temprana (Buttchereit *et al.*, 2010). Según Grieve *et al.* (1986), la relación grasa:proteína estaría correlacionada negativamente con el balance energético de los animales, ya que un déficit energético genera un incremento en la lipólisis, lo que resulta en un aumento de la síntesis de grasa en la glándula mamaria. Al mismo tiempo, si el consumo de carbohidratos fermentables es inadecuado, puede disminuir la síntesis de proteína bacteriana en el rumen, lo que generaría un menor flujo de aminoácidos hacia la glándula mamaria y, por consiguiente, una disminución en el contenido de proteína en la leche (Buttchereit *et al.*, 2010). Así, ambos procesos provocarían un incremento en la relación grasa:proteína.

La relación grasa:proteína es mayor al inicio de la lactancia y se estabilizaría aproximadamente a los 90 días de ésta, en valores cercanos a 1,15 en vacas sobre las tres lactancias (Buttchereit *et al.*, 2010). De este modo, la menor relación grasa:proteína observada en los animales suplementados (Figura 10) indicaría un balance energético más positivo en relación a los animales sin suplementación. Así también, este fenómeno podría deberse a la modificación en la relación ácido propiónico/ácido acético en el fluido ruminal (McEvoy *et al.*, 2009; Wales *et al.*, 1999), como fue mencionado en el capítulo de producción de leche y sólidos lácteos.

En relación a la respuesta en producción de leche, los resultados del presente ensayo coinciden con lo reportado en diversos trabajos que han evaluado esta variable con asignaciones de forraje y niveles de suplementación diferentes, en donde se ha observado que la respuesta en producción de leche a la suplementación con concentrados disminuye al aumentar la oferta de forraje.

En el estudio de McEvoy *et al.* (2008), con una baja oferta de forraje (13 kg MS), la respuesta promedio en producción de leche fue 0,56 y 0,8 kg de leche/kg de concentrado suministrado para niveles de suplementación de 3 y 6 kg, respectivamente. Al ofrecer 17 kg MS, la respuesta en producción de leche fue 0,67 y 0,63 kg de leche/kg de concentrado suministrado.

Según Stockdale y Trigg (1989), en lactancia temprana la respuesta marginal de 1 kg de concentrado dependerá del nivel de oferta de forraje suministrado. Para un nivel bajo de oferta de forraje (6,8 kg MS animal⁻¹ día⁻¹), la respuesta en producción de leche fue de 1,85 kg de leche/kg de concentrado suministrado, mientras que al ofertar 11,7 kg MS de pastura, la respuesta fue de 0,58 kg de leche/kg de concentrado.

Kellaway y Porta (1993), señalan que la respuesta promedio al concentrado es de 0,6 kg de leche/kg de concentrado cuando los animales poseen una baja asignación de forraje. Si la oferta de forraje se aproxima a una asignación *ad libitum*, la respuesta en producción de leche es cercana a 0 kg de leche/kg de concentrado, lo que coincidiría con lo observado en el presente ensayo en los tratamientos con alta oferta de forraje (Cuadro 9).

Bargo *et al.* (2002a) indican que para ofertas de forraje de 25 kg MS y 40 kg MS, la respuesta a la suplementación con 8,6 de concentrado fue de 1,36 y 0,96 kg de leche/kg de concentrado, respectivamente. Los autores señalan que la alta respuesta a la suplementación se debe al elevado potencial productivo de los animales utilizados.

Cuando se compara la respuesta en producción de leche de diferentes biotipos de la raza Holstein sometidos a manejos alimenticios contrastantes (Horan *et al.*, 2005), se observa que el biotipo Holstein americano presenta una respuesta a la suplementación significativamente mayor que el biotipo Holstein Neozelandés (1,08 y 0,43 kg de leche/kg de concentrado, respectivamente). La diferente respuesta a la suplementación ha sido atribuida a diversos factores como el estado fisiológico del animal, la condición corporal en el momento del ensayo y el potencial de producción de leche. Así, a medida que un animal se acerca al potencial productivo, una mayor proporción de la energía adicional suministrada es retenida como reservas corporales (Dalley *et al.*, 1999; Broster *et al.*, 1985).

Stockdale (2000a), señala que la respuesta en producción de leche posee una estrecha relación con la condición corporal de los animales; mientras mayor sea la condición corporal de los animales, más rápida es la tasa de disminución de la respuesta marginal en producción de leche al incrementar la suplementación con concentrados.

Como fue señalado anteriormente, la baja respuesta al concentrado en el biotipo Holstein Neozelandés y su mayor condición corporal durante la lactancia, en comparación con el biotipo Holstein americano, indicarían que este biotipo alcanza una gran proporción de su potencial de producción de leche basado en el consumo directo de la pastura (Horan *et al.*, 2005).

En relación al efecto de la tasa de sustitución sobre la respuesta en producción de leche, Stockdale (2000b) indica que existiría una correlación negativa entre estas variables. Así, por cada 0,1 kg de incremento en el nivel de sustitución, la respuesta marginal en producción de leche disminuiría en 0,08 kg de leche/kg de concentrado suministrado.

De este modo, la reducción en la respuesta a la suplementación en sistemas pastoriles, debido al fenómeno de la sustitución, es un aspecto a considerar en el manejo de la explotación. Minimizar la tasa de sustitución debiera resultar en mayores utilidades de ambos recursos alimenticios (Stockdale, 2000b)

Si se compara la respuesta en producción de leche obtenida por la suplementación con concentrados y la respuesta obtenida por aumentar la cantidad de forraje disponible por animal (Cuadro 9), se observa que la suplementación de concentrados generó una mayor respuesta que la asignación de forraje adicional, lo que coincide con lo propuesto por Curran *et al.* (2010).

Stockdale y Trigg (1989), obtuvieron una respuesta marginal en producción de leche de 0,82 kg de leche/kg de concentrado, mientras que la respuesta al asignar una mayor oferta de forraje fue de 0,48 kg de leche/kg de oferta de forraje adicional. Similares resultados obtuvieron McEvoy *et al.* (2009) y Curran *et al.* (2010), quienes obtuvieron una respuesta en producción de leche de 0,2 kg de leche/kg adicional de forraje ofertado, valor similar a lo observado en el presente ensayo (0,26 kg de leche/kg adicional de forraje ofertado).

La eficiencia de conversión alimenticia presentó interacción significativa entre la oferta de forraje y el nivel de suplementación ($P=0,013$) (Cuadro 10). Si se compara el efecto de la oferta de forraje dentro del mismo nivel de suplementación (Figura 11) se puede observar que el aumento de la oferta de forraje provocó un incremento en la eficiencia de conversión alimenticia en las vacas no suplementadas. Así, para una oferta de forraje de 25 kg MS, la ECA fue 1,37 kg LCE kg MS⁻¹, mientras que para una oferta de 45 kg MS, la ECA fue 1,82 kg LCE kg MS⁻¹. No hubo diferencias significativas en los niveles de suplementación de 3 y 6 kg de concentrado.

Al comparar los diferentes niveles de suplementación, dentro de la misma oferta de forraje (Figura 16) se observa que la suplementación con concentrados disminuye significativamente la ECA en los animales con asignación de forraje de 45 kg MS.

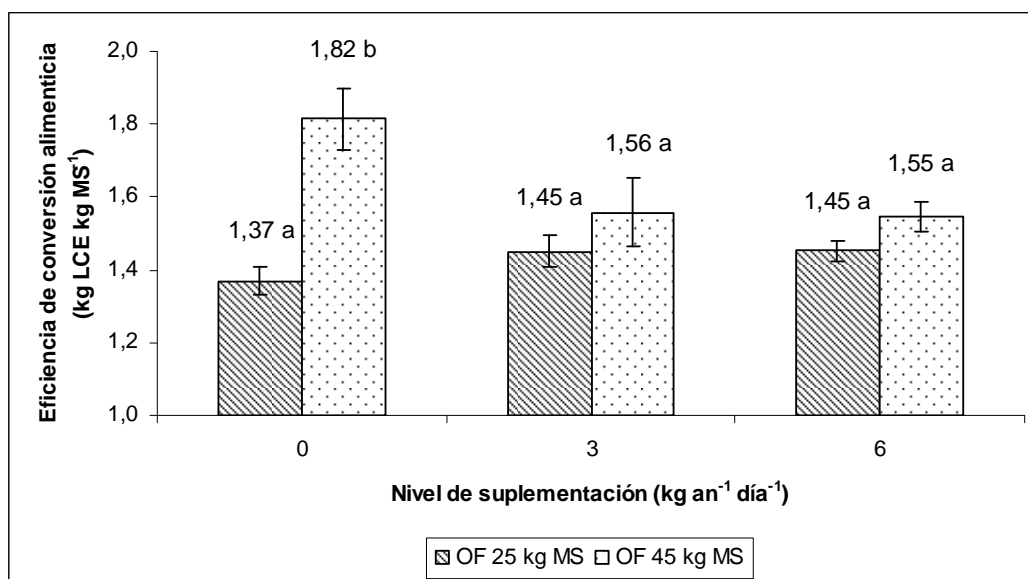
En relación a la eficiencia energética (Cuadro 10), existió interacción significativa entre la oferta de forraje y el nivel de suplementación con concentrados ($P=0,024$). Para un nivel de suplementación de 0 kg, el aumento de la oferta de forraje provocó un incremento de 4,2 puntos porcentuales (43,8 y 48,0 %, para las ofertas de 25 kg MS y 45 kg MS, respectivamente). No hubo diferencias significativas entre ambas ofertas para los niveles de suplementación de 3 y 6 kg de concentrados (Figura 13).

Cuando se comparan los distintos niveles de suplementación dentro de la misma oferta de forraje (Figura 14), se observa que en la oferta de 45 kg MS la suplementación con concentrados disminuyó significativamente la eficiencia energética bruta corregida. Así, la suplementación con concentrados provocó una disminución promedio de 4 puntos porcentuales en relación al tratamiento sin suplementación (48,0; 43,9 y 44,0 % para los niveles de 0 kg, 3 kg y 6 kg de concentrado, respectivamente).

Cuadro 10. Eficiencia de conversión alimenticia y eficiencia energética bruta corregida por cambio de peso (EEBccp) de vacas Holstein Neozelandés sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

Nivel de suplementación	Oferta de forraje						EED	<i>P</i>		
	25 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹			45 kg MS an ⁻¹ d ⁻¹				OF	OC	OFxOC
	0 kg	3 kg	6 kg	0 kg	3 kg	6 kg				
Eficiencia de conversión (kg LCE ¹ kg MS ⁻¹)	1,37	1,45	1,45	1,82	1,56	1,55	0,0848	<,001	0,252	0,013
EEBccp (%)	43,8	44,1	43,8	48,0	43,9	44,0	0,0108	0,039	0,022	0,024

¹ Leche corregida por energía



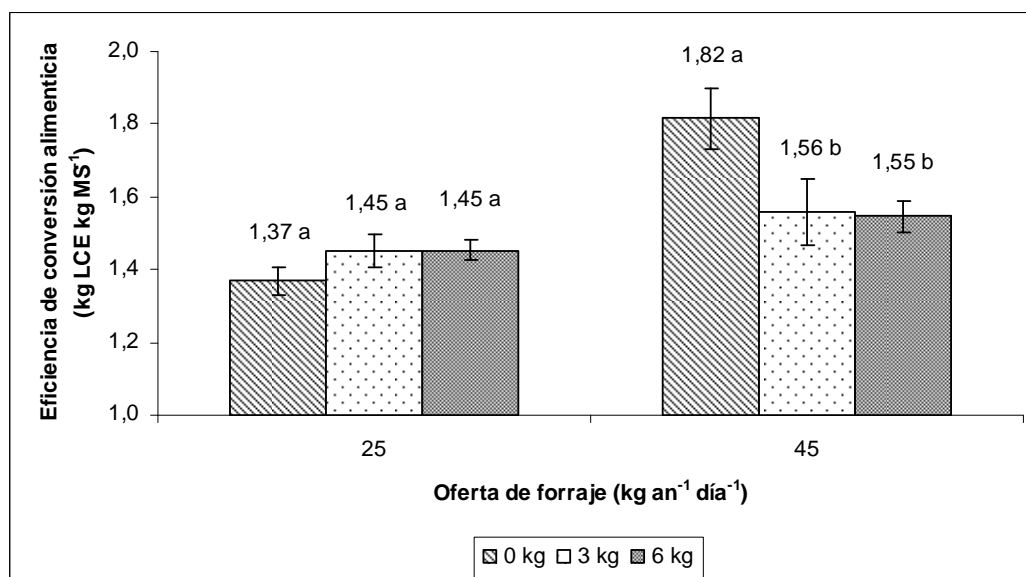
Letras distintas dentro de cada nivel de suplementación, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los niveles de oferta de forraje.

Figura 11. Eficiencia de conversión alimenticia de vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

En base a lo analizado por Beever y Doyle (2007), vacas lecheras con producciones menores a 25 L día^{-1} presentarían una ECA aproximada de $1,46 \text{ kg de leche kg MS}^{-1}$, mientras que una vaca de mayor producción presentaría valores cercanos a $1,7 \text{ kg de leche kg MS}^{-1}$, valores similares a lo obtenido en el presente ensayo.

González *et al.* (2005), en un trabajo realizado con vacas primíparas Holstein Neozelandés en el mismo lugar que el presente ensayo, reportaron una ECA fue $1,34 \text{ kg LCE kg MS}^{-1}$ en una dieta exclusivamente basada en pastoreo directo.

Tozer *et al.* (2004), observaron un efecto significativo de la suplementación con concentrados incrementando la ECA de $1,04$ a $1,21 \text{ kg de leche kg MS}^{-1}$, con un nivel de suplementación de 8 kg . En el mismo trabajo, la oferta de forraje no presentó un efecto significativo sobre la ECA.

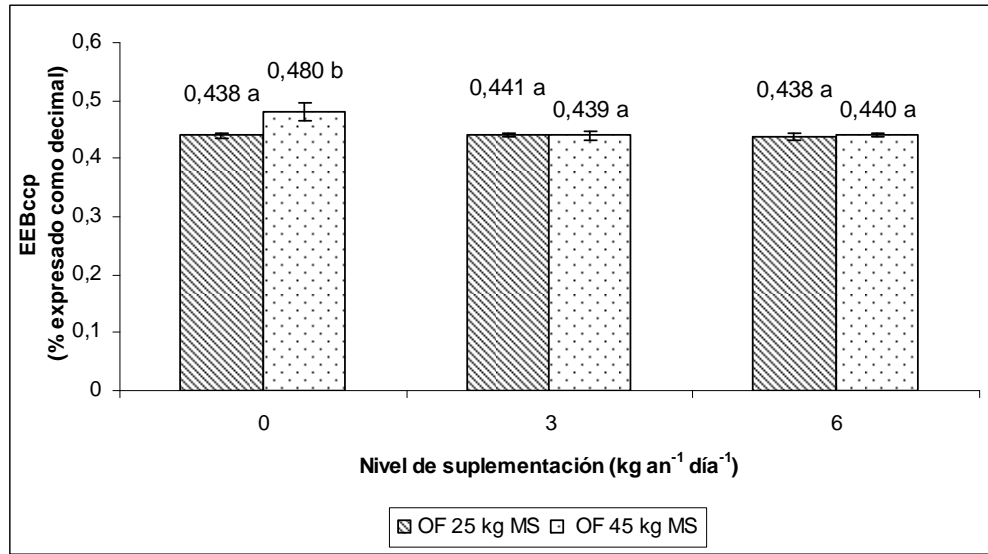


Letras distintas dentro de cada nivel de oferta de forraje, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los niveles de suplementación.

Figura 12. Eficiencia de conversión alimenticia de vacas Holstein Neozelandés, sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

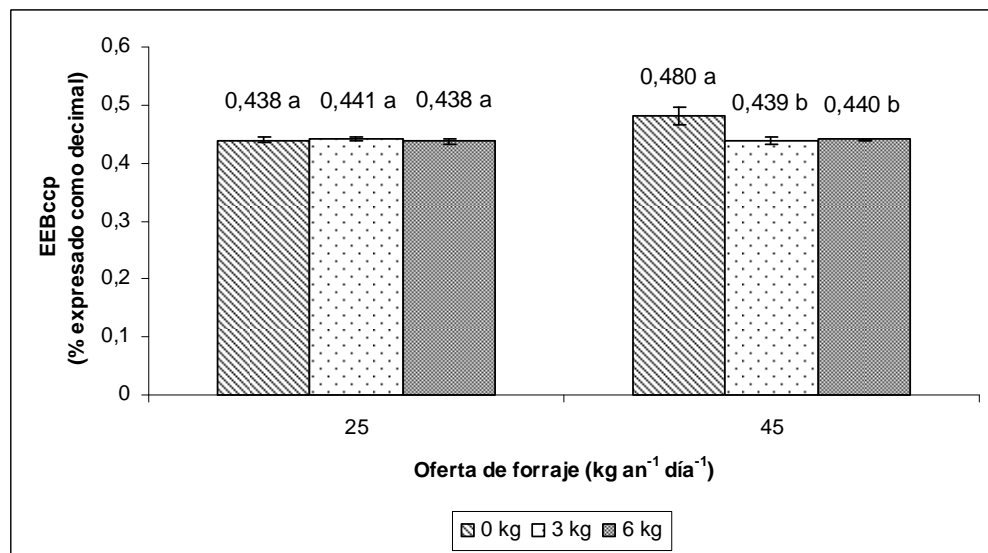
En general, se ha observado que la ECA debiera incrementarse ligeramente a medida que aumenta el nivel de suplementación, bajo el supuesto de que la suplementación con concentrados provoca una mayor producción de leche. Desde un punto de vista teórico, la suplementación de 1 kg de suplemento (12 MJ kg MS^{-1}) debiera ser capaz de sustentar 2,4 kg de leche adicionales (Beever y Doyle, 2007); no obstante, la ECA interactúa de manera importante con la tasa de sustitución, por lo que el efecto esperado de la suplementación tiende a ser menor.

Así también, Beever y Doyle (2007) indican, mediante la simulación de los efectos de una disminución en la digestibilidad del concentrado sobre el consumo de EM, que la ECA se vería afectada negativamente si la digestibilidad del concentrado disminuye, al causar una reducción en la densidad energética de la dieta consumida, lo que afectaría la producción de leche de los animales. Es factible, entonces, que la disminución en la ECA al suplementar con concentrados con una alta oferta de forraje (Figura 12), pueda deberse a este fenómeno, considerando la baja digestibilidad que presentó el concentrado utilizado en este ensayo (Cuadro 1).



Letras distintas dentro de cada nivel de suplementación, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los niveles de oferta de forraje.

Figura 13. Eficiencia energética bruta corregida por cambio de peso (EEBccp) en vacas Holstein Neozelandés sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.



Letras distintas dentro de cada nivel de oferta de forraje, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los niveles de suplementación.

Figura 14. Eficiencia energética bruta corregida por cambio de peso (EEBccp) en vacas Holstein Neozelandés sometidas a dos ofertas de forraje y tres niveles de suplementación.

Los valores de EEBccp observados en el presente ensayo son superiores a lo reportado por González *et al.* (2005) en vacas primíparas Holstein Neozelandés, quienes obtuvieron un valor de 39,09%. Mackle *et al.* (1996), obtuvieron valores promedios de EEBccp de 39,6% y 44,7% para vacas Holstein y Jersey, respectivamente.

La EEBccp permite remover el efecto de la energía aportada por las reservas corporales para la producción de leche o, alternativamente, el efecto de la fracción de EM ingerida que es destinada a aumento de peso (González *et al.*, 2005). De este modo, queda de manifiesto que el menor valor de cambio de peso obtenido por los animales sometidos al tratamiento sin suplementación, con una asignación de forraje de 45 kg MS (Figura 3), lo que implicaría una menor distribución de EM hacia ese proceso fisiológico; y el mayor nivel productivo presentado por este tratamiento (Cuadro 2) son los factores fundamentales que explican la mayor eficiencia biológica de este grupo (Figuras 13 y 14). La menor eficiencia biológica para producción de leche en los animales suplementados, estaría relacionada con una mayor proporción de la energía consumida dirigida hacia depositación de reservas corporales, como fue señalado anteriormente.

Cabe destacar el alto valor de ECA y EEBccp observados en el tratamiento con oferta de 45 kg MS y sin suplementación (Cuadro 10). Sin embargo, el incremento de estos parámetros de eficiencia biológica se relaciona con una baja eficiencia de utilización del forraje ofrecido (Cuadro 1). En escenarios pastoriles de producción de leche, se debe buscar un equilibrio entre la utilización eficiente de los recursos forrajeros y la eficiencia biológica, por lo que maximizar ésta última no siempre es recomendable.

VIII. CONCLUSIONES

Dadas las características en las cuales se desarrolló este ensayo, es posible concluir:

- El aumento en el nivel de suplementación en presencia de una alta asignación de forraje, provoca una disminución en la respuesta en producción de leche y sólidos lácteos, aumentando la proporción de energía consumida dirigida a cambio de peso, ganancia de condición corporal y atenuación del balance energético negativo.
- La suplementación con concentrados provoca una disminución en el consumo de materia seca de la pastura, debido al fenómeno de sustitución, siendo mayor a medida que se incrementa la oferta de forraje y el nivel de suplementación.
- El aumento en la oferta de forraje provoca un incremento en los parámetros de eficiencia biológica analizados. No obstante, este incremento está vinculado a una menor eficiencia de utilización del recurso forrajero.
- Se produce una interacción entre la oferta de forraje y el nivel de suplementación sobre la producción de leche, el consumo de materia seca, la tasa de sustitución y la eficiencia biológica, lo que debe ser considerado en el plan de manejo de un sistema pastoril de producción de leche.

IX. LITERATURA CITADA

AFRC. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. CAB International. Wallingford, UK. 159 p.

Anrique, R., Fuchslocher, R., Iraira, S. y Saldaña, R. 2010. Composición de alimentos para el ganado bovino, cuarta edición. Consorcio Lechero y Universidad Austral de Chile. 87p.

Baker, R. 1985. Estimating herbage intake from animal performance. *En*: Leaver, J. D. (ed). Herbage intake handbook. The British Grassland Society. Hurley, UK. pp. 77-93.

Balocchi, O., Pulido, R. y Fernández, J. 2002. Comportamiento de vacas lecheras en pastoreo con y sin suplementación con concentrado. *Agricultura Técnica* 62(1): 87-98.

Bargo, F., Muller, L., Kolver, E. and Delahoy, J. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science* 86: 1-42.

Bargo, F., Muller, L., Delahoy, J. and Cassidy, T. 2002a. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *Journal of Dairy Science* 85: 1777-1792.

Bargo, F., Muller, L., Delahoy, J. and Cassidy, T. 2002b. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 85: 2948-2963.

Bateman, J. 1970. Nutrición animal. Manual de métodos analíticos. Centro Regional de Ayuda Técnica. México. 468 p.

Beever, D.E. and Doyle, P.T. 2007. Feed conversion efficiency as a key determinant of dairy herd performance: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47: 645-657.

Broster, W., Sutton, J., Bines, J., Broster, V., Smith, T., Siviter, J., Johnson, V., Napper, D. and Schuller, E. 1985. The influence of plane of nutrition and diet composition on the performance of dairy cows. *The Journal of Agricultural Science* 104: 535-557.

Buckley, F., O'Sullivan, K., Mee, J., Evans, E. and Dillon, P. 2003. Relationships among milk yield, body condition, cow weight and reproduction in spring-calved Holstein-Friesians. *Journal of Dairy Science* 86: 2308-2319.

Buttchereit, N., Stamer, E., Junge, W. and Thaller, G. 2010. Evaluation of five lactation curve models fitted for fat:protein ratio of milk and daily energy balance. *Journal of Dairy Science* 93: 1702-1712.

Burke, F., O'Donovan, M., Murphy, J., O'Mara, F. and Mulligan, F. 2008. Effect of pasture allowance and supplementation with maize silage and concentrates differing in crude protein concentration on milk production and nitrogen excretion by dairy cows. *Livestock Science* 114: 325-335.

Caird, L. and Holmes, W. 1986. The prediction of voluntary intake of grazing dairy cows. *Journal of Agricultural Sciences* 107: 43-54.

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 2003. Estudio agrológico. Descripción de suelos, materiales y símbolos: X Región. 374p.

Cerda, D., Manterola, H., Sirhan, L. y Illanes, R. 1987. Validación y estudios comparativos de métodos estimadores de la digestibilidad aparente de alimentos para rumiantes. Circular de Extensión N°12. Departamento de Producción Animal. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. pp. 87-97.

Coffey, M.P., Simm, G., Oldham, J.D., Hill, W.G. and Brotherstone, S. 2004. Genotype and diet effects on energy balance in the first three lactations of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87: 4318-4326.

Cohen, D.C., Doyle, P.T., Stockdale, C.R. and Wales, W.J. 2000. Pasture allowance x pasture intake relationships: Victorian and overseas data. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 13: 119. Suppl. Vol. B.

Coulon, J.B. and Rémond, B. 1991. Variations in milk output and milk protein content in response to the level of energy supply to the dairy cow: A review. *Livestock Production Science* 29: 31-47.

Curran, J., Delaby, L., Kennedy, E., Murphy, J.P., Boland, T.M. and O'Donovan, M. 2010. Sward characteristics, grass dry matter intake and milk production performance are affected by pre-grazing herbage mass and pasture allowance. *Livestock Science* 127: 144-154.

Dalley, D., Roche, J., Grainger, C. and Moate, P. 1999. Dry matter intake, nutrient selection and milk production of dairy cows grazing rainfed perennial pastures at different herbage allowances in spring. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39: 923-931.

Delaby, L., Peyraud, J. and Delagarde, R. 2001. Effect of the level of concentrate supplementation, herbage allowance and milk yield at turn-out on the performance of dairy cows in mid lactation at grazing. *Animal Science* 73: 171-181.

Dillon, P., Berry, D., Evans, R., Buckley, F. and Horan, B. 2006. Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production. *Livestock Science* 99: 141-158

- Dillon, P., Crosse, S. and O'Brien, B. 1997. Effect of concentrate supplementation of grazing dairy cows in early lactation on milk production and milk processing quality. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 36: 145-159.
- Dixon, R.M. and Stockdale, C.R. 1999. Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilization. *Australian Journal of Agricultural Research* 50: 757-773.
- Edmonson, A., Lean, I., Weaver, L., Farver, T. and Webster, G. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72: 68-78.
- Faverdin, P., Dulphy, J.P., Coulon, J.B., Vérité, R., Garel, J.P., Rouel, J. and Marquis, B. 1991. Substitution of roughage by concentrates by dairy cows. *Livestock Production Science* 27: 137-156.
- Garrido, O. y Mann, E. 1981. Composición química, digestibilidad y valor energético de una pradera permanente de pastoreo a través del año. Memoria de título, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 59 p.
- GenStat. 2009. GenStat Release 12 Reference Manual. VSN International, Hertfordshire, UK.
- Givens, I. 1986. New methods for predicting the nutritive value for silage. *En*: Stark, A. and Wilkinson, P. (eds.). *Development in silage*. Chalcombe Publications, Marlow, Great Britain.
- Göering, H. and Van Soest, P. 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agricultural Handbook* 379. ARS-USDA, Washington, D.C. 76 p.
- González V., H., Magofke, J.C. y Mella, C. 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. *Archivos de Medicina Veterinaria* 37(1): 37-47.
- Grieve, D.G., Korver, S., Rijpkema, Y.S. and Hof, G. 1986. Relationship between milk composition and some nutritional parameters in early lactation. *Livestock Production Science* 14: 239-254.
- Harris, B. 1998. Breeding dairy cattle for economic efficiency: A New Zealand pasture-based system. 6th World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod., Armidale, Australia. 25: 383-386.
- Horan, B., Dillon, P., Faverdin, P., Delaby, L., Buckley, F. and Rath, M. 2005. The interaction of strain of Holstein-Friesian cows and pasture-based feed systems on milk yield, body weight, and body condition score. *Journal of Dairy Science* 88: 1231-1243.

- Horan, B., Faverdin, P., Delaby, L., Rath, M. and Dillon, P. 2006. The effect of strain of Holstein-Friesian dairy cows on grass intake and milk production in various pasture-based systems. *Animal Science* 82: 435-444.
- Kellaway, R and Porta, S. 1993. *Feeding Concentrates: Supplements for Dairy Cows*. Dairy Research and Development Corporation, Australia. 176 p.
- Kennedy, E., O'Donovan, M., Delaby, L. and O'Mara, F. 2008. Effect of herbage allowance and concentrate supplementation on dry matter intake, milk production and energy balance of early lactating dairy cows. *Livestock Science* 117: 275-286.
- Kennedy, J., Dillon, P., Delaby, L., Faverdin, P., Stakelum, G. and Rath, M. 2003. Effect of genetic merit and concentrate supplementation on grass intake and milk production with Holstein Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 610-621.
- Kolver, E.S. and Muller, L.D. 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of Dairy Science* 81: 1403-1411.
- Kolver, E.S., Roche, J.R., de Veth, M.J., Thorne, P.L. and Napper, A.R. 2002. Total mixed rations versus pasture diets: evidence for a genotype x diet interaction in dairy cow performance. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 62: 246-251.
- Le Du, Y. and Penning, P. 1985. Animal based technique for estimating herbage intake. *En: Leaver, J.D. (ed.) Herbage Intake Handbook*. The British Grassland Society, Hurley, UK. pp 37-75.
- Machado, C., Morris, S., Hodgson, J., Berger, H. and Auza, J. 2006. Effect of maize grain and herbage allowance on estimated metabolizable energy intake and animal performance in beef cattle finishing systems. *Grass and Forage Science* 61: 385-397.
- Mackle, T.R., Parr, C.R., Stakelum, G.K., Bryant, A.M. and MacMillan, K.L. 1996. Feed conversion efficiency, daily pasture intake, and milk production of primiparous Friesian and Jersey cows calved at two different liveweights. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 39(3): 357-370.
- McCarthy, S., Berry, D., Dillon, P., Rath, M. and Horan, B. 2007a. Effect of strain of Holstein-Friesian and feed system on calving performance, blood parameters and overall survival. *Livestock Science* 111: 218-229.
- McCarthy, S., Berry, D., Dillon, P., Rath, M. and Horan, B. 2007b. Influence of Holstein-Friesian strain and feed system on body weight and body condition score lactation profiles. *Journal of Dairy Science* 90: 1859-1869.

McEvoy, M., Kennedy, E., Murphy, J., Boland, T., Delaby, L. and O'Donovan, M. 2008. The effect of herbage allowance and concentrate supplementation on milk production performance and dry matter intake of spring-calving dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 91: 1258-1269.

McEvoy, M., O'Donovan, M., Kennedy, E., Murphy, J., Delaby, L. and Boland, T. 2009. Effect of pregrazing herbage mass and pasture allowance on the lactation performance of Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 414-422.

Mc Gilloway, D.A. and Mayne, C.S. 1996. The importance of grass availability for the high genetic merit dairy cow. *En*: Garnsworthy, P.C., Wiseman, J. and Haresign, W. (eds.). *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham Univ. Press. UK. pp. 135-169.

Mertens, D. R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of Animal Science* 64: 1548-1558.

National Research Council (NRC). 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. National Academies Press. Washington, D.C., USA. 362 p.

Palladino, R.A., O'Donovan, M., Murphy, J.J., McEvoy, M., Callan, J., Boland, T.M. and Kenny, D.A. 2009. Fatty acid intake and milk fatty acid composition of Holstein dairy cows under different grazing strategies: Herbage mass and daily herbage allowance. *Journal of Dairy Science* 92: 5212-5223.

Parga, J., Teuber, N., Balocchi, O., Anwandter, V., Canseco, C., Abarzúa, A., Lopetegi, J. y Demanet, R. 2007. Comportamiento del animal en pastoreo. *En*: Teuber, N. (ed). *Manejo del Pastoreo*. FIA. Osorno, Chile. Cap 5: 69- 89.

Pulido, R.G. and Leaver, J.D. 2001. Quantifying the influence of sward height, concentrate level and initial milk yield on the milk production and grazing behaviour of continuously stocked dairy cows. *Grass and Forage Science* 56: 57-67.

Pulido, R.G., Muñoz, R., Jara, C., Balocchi, O.A., Smulders, J.P., Wittwer, F., Orellana, P. and O'Donovan, M. 2010. The effect of pasture allowance and concentrate supplementation type on milk production performance and dry matter intake of autumn-calving dairy cows in early lactation. *Livestock Science* 132: 119-125.

Ribeiro Filho, H., Delagarde, R. and Peyraud, J. 2005. Herbage intake and milk yield of dairy cows grazing perennial ryegrass swards or white clover/perennial ryegrass swards at low- and medium-herbage allowances. *Animal Feed Science and Technology* 119: 13-27.

Robaina, A., Grainger, P., Moate, P., Taylor, J. and Stewart, J. 1998. Responses to grain feeding by grazing dairy cows. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38: 541-549.

Smit, H.J., Taweel, H.Z., Tas, B.M., Tamminga, S. and Elgersma, A. 2005. Comparison of techniques for estimating herbage intake of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88: 1827-1836.

Stakelum, G. and Dillon, P. 2007. The effect of grazing pressure on rotationally grazed pasture in spring/early summer on subsequent sward characteristics. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 46: 15–28.

Stakelum, G., Maher, J. and Rath, M. 2007. Effects of daily herbage allowance and stage of lactation on the intake and performance of dairy cows in early summer. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 46: 47-61.

Stockdale, C. 2000a. Differences in body condition and body size affect the responses of grazing dairy cows to high-energy supplements in early lactation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40: 903-911.

Stockdale, C. 2000b. Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40: 913-921.

Stockdale, C. 1999. The nutritive characteristics of herbage consumed by grazing dairy cows affect milk yield responses obtained from concentrate supplementation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39: 379-387.

Stockdale, C. and Trigg, T. 1989. Effect of pasture feeding levels on the responses of lactating dairy cows to high energy supplements. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 29: 605-611.

Stockdale, C. and Trigg, T. 1985. Effect of pasture allowance and level of concentrate feeding on the productivity of dairy cows in late lactation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 25: 739-744.

Tharmaraj, J., Wales, W., Chapman, D. and Egan, A. 2003. Defoliation pattern, foraging behaviour and diet selection by lactating dairy cows in response to sward height and herbage allowance of a ryegrass-dominated pasture. *Grass and Forage Science* 58: 225-238.

Tilley, J.M.A. and Terry, R.A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science* 18: 104-111.

Tozer, P., Bargo, F. and Muller, L. 2004. The effect of pasture allowance and supplementation on feed efficiency and profitability of dairy systems. *Journal of Dairy Science* 87: 2902-2911.

Tyrell, H. and Reid, J. 1965. Prediction of the energy value of cow's milk. *Journal of Dairy Science* 48: 1215-1233.

van Arendok, J., Nieuwhof, G., Vos, H. and Korver, S. 1991. Genetics aspects of feed intake and efficiency in lactating dairy heifers. *Livestock Production Science* 29: 263-275.

Vazquez, O. and Smith, T. 2000. Factors affecting pasture intake and total dry matter intake in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83: 2301-2309.

Veloso, N. 2009. Factibilidad técnico-económica del establecimiento de un sistema intensivo de producción ovina para la zona húmeda de Chile y su comparación con la cría bovina. Memoria de título, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 144 p.

Wales, W., Doyle, P., Stockdale, C. and Dellow, D. 1999. Effects of variations in herbage mass, allowance and level of supplement on nutrient intake and milk production of dairy cows in spring and summer. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39: 119-130.

X. APÉNDICES

X.1. Temperaturas máximas, temperaturas mínimas y precipitaciones registradas durante el mes de octubre de 2009, en la Estación Experimental Oromo.

Fecha	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitaciones (mm)
1	22,8	6,0	0,0
2	12,0	4,8	2,7
3	14,2	4,0	3,0
4	15,5	5,2	6,2
5	17,6	5,0	3,4
6	14,0	3,5	0,0
7	16,8	2,5	0,0
8	19,2	6,0	0,0
9	19,5	5,8	0,0
10	13,4	4,3	5,2
11	14,0	5,0	1,6
12	14,5	3,8	5,4
13	12,8	1,2	0,5
14	14,9	1,4	0,8
15	13,5	2,5	0,0
16	16,4	4,0	0,0
17	20,5	1,6	0,0
18	17,3	0,5	0,0
19	16,8	1,6	0,0
20	12,8	2,8	1,7
21	16,2	3,0	0,0
22	12,7	6,4	18,0
23	15,0	4,5	10,5
24	14,4	3,0	14,6
25	16,3	2,4	0,0
26	15,8	3,0	0,0
27	13,7	1,5	3,5
28	16,0	5,8	16,0
29	15,4	4,7	0,0
30	15,8	3,4	0,0
31	16,2	6,0	3,2
$\bar{X} = 15,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\bar{X} = 3,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Sigma = 96,3 \text{ mm}$	

X.2. Análisis de varianza de los principales parámetros productivos analizados.

X.2.1. Análisis de varianza de la producción de leche sin corregir.

Analysis of variance (adjusted for covariate)

Variate: Leche1,Leche2,Leche3

Covariate: DL

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	cov.ef.	F pr.
Subject stratum						
OC	2	65.040	32.520	1.33	0.98	0.291
OF	1	7.226	7.226	0.30	1.00	0.594
OC.OF	2	198.802	99.401	4.06	0.98	0.036
Covariate	1	517.748	517.748	21.16		<.001
Residual	17	415.907	24.465	11.59	2.12	
Subject.Time stratum						
d.f. correction factor 0.7706						
Time	2	88.263	44.132	20.92	1.00	<.001
Time.OC	4	12.122	3.031	1.44	1.00	0.253
Time.OF	2	2.367	1.183	0.56	1.00	0.533
Time.OC.OF	4	23.768	5.942	2.82	1.00	0.056
Residual	36	75.960	2.110		1.00	
Total	71	1383.847				

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means (adjusted for covariate)

Variate: Leche1,Leche2,Leche3

Covariate: DL

Grand mean 30.06

OC	0	3	6
	30.17	28.82	31.18
OF	25	45	
	29.74	30.37	
OC	OF	25	45
0		27.56	32.79
3		29.22	28.42
6		32.44	29.92

X.2.2. Análisis de varianza de la concentración de grasa láctea.

Analysis of variance

Variate: Grasa1,Grasa2,Grasa3

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	242.093	121.047	1.48	0.255
OF	1	32.133	32.133	0.39	0.539
OC.OF	2	201.741	100.871	1.23	0.316
Residual	18	1476.568	82.032	11.70	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.9219					
Time	2	45.901	22.950	3.27	0.054
Time.OC	4	12.048	3.012	0.43	0.772
Time.OF	2	2.010	1.005	0.14	0.851
Time.OC.OF	4	4.819	1.205	0.17	0.942
Residual	36	252.415	7.012		
Total	71	2269.729			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: Grasa1,Grasa2,Grasa3

Grand mean 39.90

OC	0	3	6
	42.42	38.10	39.19
OF	25	45	
	39.24	40.57	
OC	OF	25	45
0		43.45	41.39
3		38.02	38.19
6		36.24	42.13

X.2.3. Análisis de varianza de la concentración de proteína láctea.

Analysis of variance

Variate: Prot1,Prot2,Prot3

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	36.1758	18.0879	1.04	0.374
OF	1	1.6806	1.6806	0.10	0.760
OC.OF	2	133.3619	66.6810	3.83	0.041
Residual	18	313.3217	17.4068	18.00	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.8707					
Time	2	9.3158	4.6579	4.82	0.019
Time.OC	4	1.0283	0.2571	0.27	0.876
Time.OF	2	0.1669	0.0835	0.09	0.894
Time.OC.OF	4	2.1156	0.5289	0.55	0.679
Residual	36	34.8133	0.9670		
Total	71	531.9800			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: Prot1,Prot2,Prot3

Grand mean 36.63

OC	0	3	6
	35.80	36.58	37.53
OF	25	45	
	36.48	36.79	
OC	OF	25	45
0		37.38	34.22
3		36.28	36.87
6		35.78	39.28

X.2.4. Análisis de varianza de la condición corporal.

Analysis of variance

Variate: CC1,CC2,CC3

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	1.18750	0.59375	6.09	0.010
OF	1	0.94531	0.94531	9.69	0.006
OC.OF	2	0.02083	0.01042	0.11	0.899
Residual	18	1.75521	0.09751	5.52	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.9925					
Time	2	0.18750	0.09375	5.31	0.010
Time.OC	4	0.03125	0.00781	0.44	0.776
Time.OF	2	0.02083	0.01042	0.59	0.558
Time.OC.OF	4	0.08333	0.02083	1.18	0.336
Residual	36	0.63542	0.01765		
Total	71	4.86719			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: CC1,CC2,CC3

Grand mean 2.969

OC	0	3	6
	2.823	3.135	2.948
OF	25	45	
	2.854	3.083	
OC	OF	25	45
0		2.708	2.938
3		3.000	3.271
6		2.854	3.042

X.3. Análisis de varianza del consumo de materia seca de la pastura, estimado en base a las diferentes ecuaciones planteadas en el ensayo.

X.3.1. Análisis de varianza del consumo de materia seca de la pastura, estimado según ecuación de Vazquez y Smith (2000).

Analysis of variance

Variate: ConsPraVasq_1,ConsPraVasq_2,ConsPraVasq_3

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	25.4769	12.7384	3.11	0.069
OF	1	57.3164	57.3164	14.01	0.001
OC.OF	2	45.2104	22.6052	5.53	0.013
Residual	18	73.6180	4.0899	35.33	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.8811					
Time	2	1.8781	0.9390	8.11	0.002
Time.OC	4	0.3533	0.0883	0.76	0.542
Time.OF	2	0.2638	0.1319	1.14	0.327
Time.OC.OF	4	0.2484	0.0621	0.54	0.688
Residual	36	4.1671	0.1158		
Total	71	208.5323			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: ConsPraVasq_1,ConsPraVasq_2,ConsPraVasq_3

Grand mean 17.295

OC	0	3	6
	18.041	17.259	16.585
OF	25	45	
	16.403	18.187	
OC	OF	25	45
0		17.921	18.161
3		16.684	17.834
6		14.603	18.567

X.3.2. Análisis de varianza del consumo de materia orgánica de la pastura, estimado según ecuación de Caird y Holmes (1986).

Analysis of variance

Variate: ConsPraCH_1,ConsPraCH_2,ConsPraCH_3

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	377.9163	188.9581	61.46	<.001
OF	1	0.0034	0.0034	0.00	0.974
OC.OF	2	126.4483	63.2241	20.56	<.001
Residual	18	55.3401	3.0744	20.16	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.9057					
Time	2	2.3598	1.1799	7.74	0.002
Time.OC	4	0.5786	0.1446	0.95	0.442
Time.OF	2	0.1557	0.0779	0.51	0.587
Time.OC.OF	4	1.1497	0.2874	1.88	0.142
Residual	36	5.4896	0.1525		
Total	71	569.4414			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: ConsPraCH_1,ConsPraCH_2,ConsPraCH_3

Grand mean 16.905

OC	0	3	6
	19.756	16.812	14.147
OF	25	45	
	16.898	16.912	
OC	OF	25	45
0		17.937	21.576
3		17.298	16.325
6		15.459	12.835

X.3.3. Análisis de varianza del consumo de materia seca de la pastura, estimado según ecuación de Baker (1985).

Analysis of variance

Variate: ConsMSpraderaAFRC1,ConsMSpraderaAFRC2,ConsMSpraderaAFRC3

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	256.5692	128.2846	18.00	<.001
OF	1	41.5750	41.5750	5.83	0.027
OC.OF	2	42.2147	21.1073	2.96	0.077
Residual	18	128.2616	7.1256	9.87	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.8872					
Time	2	23.6754	11.8377	16.40	<.001
Time.OC	4	1.1422	0.2855	0.40	0.789
Time.OF	2	2.6933	1.3467	1.87	0.175
Time.OC.OF	4	4.5300	1.1325	1.57	0.211
Residual	36	25.9893	0.7219		
Total	71	526.6506			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: ConsMSpraderaAFRC1,ConsMSpraderaAFRC2,ConsMSpraderaAFRC3

Grand mean 17.16

OC	0	3	6
	19.62	16.82	15.04
OF	25	45	
	17.92	16.40	
OC	OF	25	45
0		20.95	18.30
3		18.10	15.53
6		14.72	15.36

X.4. Análisis de varianza de la tasa de sustitución, según consumo de materia seca estimado con las diferentes ecuaciones utilizadas en el ensayo.

X.4.1. Análisis de varianza de la tasa de sustitución, según consumo de materia seca estimado con ecuación de Baker (1985).

Analysis of variance

Variate: TS1,TS2,TS3

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	13.55547	6.77773	56.64	<.001
OF	1	0.74807	0.74807	6.25	0.022
OC.OF	2	1.01598	0.50799	4.24	0.031
Residual	18	2.15405	0.11967	4.14	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.6650					
Time	2	0.08362	0.04181	1.45	0.249
Time.OC	4	0.18749	0.04687	1.62	0.213
Time.OF	2	0.12623	0.06311	2.19	0.147
Time.OC.OF	4	0.16640	0.04160	1.44	0.257
Residual	36	1.03984	0.02888		
Total	71	19.07714			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: TS1,TS2,TS3

Grand mean 0.603

OC	0	3	6
	0.000	1.002	0.807
OF	25	45	
	0.705	0.501	
OC	OF	25	45
0		0.000	0.000
3		1.040	0.965
6		1.076	0.539

X.4.2. Análisis de varianza de la tasa de sustitución, según consumo de materia seca estimado con ecuación de Caird y Holmes (1986).

Analysis of variance

Variate: TS1ch,TS2ch,TS3ch

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	17.004314	8.502157	75.23	<.001
OF	1	15.638445	15.638445	138.38	<.001
OC.OF	2	8.321038	4.160519	36.81	<.001
Residual	18	2.034224	0.113012	21.42	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.5708					
Time	2	0.036260	0.018130	3.44	0.074
Time.OC	4	0.033575	0.008394	1.59	0.227
Time.OF	2	0.015959	0.007980	1.51	0.236
Time.OC.OF	4	0.031446	0.007862	1.49	0.249
Residual	36	0.189961	0.005277		
Total	71	43.305223			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: TS1ch,TS2ch,TS3ch

Grand mean 0.6872

Time	TS1ch	TS2ch	TS3ch
	0.6865	0.7150	0.6601
OC	0 0.0000	3 1.0393	6 1.0223
OF	25 0.2212	45 1.1532	
OC		OF	25 45
0		0.0000	0.0000
3		0.2380	1.8407
6		0.4254	1.6191

X.4.3. Análisis de varianza de la tasa de sustitución, según consumo de materia seca estimado con ecuación de Vazquez y Smith (2000).

Analysis of variance

Variate: TS1vs,TS2vs,TS3vs

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	1.089235	0.544617	3.66	0.046
OF	1	2.050295	2.050295	13.79	0.002
OC.OF	2	1.357264	0.678632	4.57	0.025
Residual	18	2.675763	0.148653	25.77	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.6954					
Time	2	0.021052	0.010526	1.82	0.188
Time.OC	4	0.035156	0.008789	1.52	0.234
Time.OF	2	0.002322	0.001161	0.20	0.738
Time.OC.OF	4	0.026971	0.006743	1.17	0.339
Residual	36	0.207650	0.005768		
Total	71	7.465708			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: TS1vs,TS2vs,TS3vs

Grand mean 0.1719

OC	0	3	6
	0.0000	0.2807	0.2351
OF	25	45	
	0.3407	0.0032	
OC	OF	25	45
0		0.0000	0.0000
3		0.4507	0.1108
6		0.5714	-0.1012

X.5. Análisis de varianza de los parámetros de eficiencia biológica analizados.

X.5.1. Análisis de varianza de la eficiencia de conversión alimenticia (ECA).

Analysis of variance

Variate: EConver1,EConver2,EConver3

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	0.128581	0.064291	1.49	0.252
OF	1	0.833137	0.833137	19.29	<.001
OC.OF	2	0.482634	0.241317	5.59	0.013
Residual	18	0.777258	0.043181	37.40	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.7525					
Time	2	0.322655	0.161327	139.74	<.001
Time.OC	4	0.011742	0.002935	2.54	0.077
Time.OF	2	0.028614	0.014307	12.39	<.001
Time.OC.OF	4	0.003619	0.000905	0.78	0.514
Residual	36	0.041560	0.001154		
Total	71	2.629801			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: EConver1,EConver2,EConver3

Grand mean 1.5321

OC	0	3	6
	1.5918	1.5049	1.4997
OF	25	45	
	1.4246	1.6397	
OC	OF	25	45
0		1.3685	1.8151
3		1.4515	1.5583
6		1.4536	1.5457

X.5.2. Análisis de varianza de la eficiencia energética bruta, corregida por cambio de peso (EEBccp).

Analysis of variance

Variate: EEBC1,EEBC2,EEBC3

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Subject stratum					
OC	2	0.00675669	0.00337835	4.78	0.022
OF	1	0.00351401	0.00351401	4.98	0.039
OC.OF	2	0.00649019	0.00324510	4.59	0.024
Residual	18	0.01271342	0.00070630	17.56	
Subject.Time stratum					
d.f. correction factor 0.7496					
Time	2	0.00190344	0.00095172	23.66	<.001
Time.OC	4	0.00018289	0.00004572	1.14	0.352
Time.OF	2	0.00002144	0.00001072	0.27	0.704
Time.OC.OF	4	0.00009372	0.00002343	0.58	0.631
Residual	36	0.00144783	0.00004022		
Total	71	0.03312365			

(d.f. are multiplied by the correction factors before calculating F probabilities)

Tables of means

Variate: EEBC1,EEBC2,EEBC3

Grand mean 0.44643

OC	0	3	6
	0.46013	0.43992	0.43925
OF	25	45	
	0.43944	0.45342	
OC	OF	25	45
0		0.43975	0.48050
3		0.44050	0.43933
6		0.43808	0.44042