



Fernando Bargo

Ph.D. en Ciencias
Animales
Universidad Estatal de
Pensilvania (Estados
Unidos)

M.Sc. en Producción
Animal
Universidad Nacional de
Mar del Plata (Argentina)

Ingeniero Agrónomo
Universidad de Buenos
Aires (Argentina)

Cargo actual:
Responsable Servicios
Técnicos Lucta S.A.
División Zootecnia para
Américas (Estados Unidos,
México, Colombia y Brasil)

fernando.bargo@lucta.com
Argentina

Fernando Bargo

Suplementación en pastoreo: Conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo

Introducción

El uso de pasturas en la alimentación de vacas lecheras resulta en un sistema de alimentación de bajo costo ya que las pasturas son la fuente de nutrientes más barata (Clark & Kanneganti, 1998; Peyraud & Delaby, 2001). Los sistemas pastoriles eficientes se caracterizan por una alta producción de leche por unidad de superficie, mientras que los sistemas en confinamiento se caracterizan por una alta producción por vaca (Clark & Kanneganti, 1998). Las pasturas usadas para vacas lecheras son comúnmente pasturas templadas, que se pueden describir como pasturas de alta calidad con 18 a 24% de materia seca (MS), 18 a 25% de proteína bruta (PB), 40 a 50% de fibra detergente neutro (FDN), y 1,53 a 1,67 megacalorías por kilo de materia seca de energía neta de lactancia (ENL) (Clark & Kanneganti, 1998).

El objetivo principal de brindar suplementación a vacas lecheras en pastoreo es aumentar el consumo total de materia seca y el consumo de energía en comparación con aquellos obtenidos con solo pastura (Peyraud & Delaby, 2001; Stockdale, 2000b). A nivel de sistema de producción, uno de los objetivos principales de la suplementación es optimizar la rentabilidad por vaca y por unidad de superficie (Kellaway & Porta, 1993; Fales et al., 1995). Entre los objetivos específicos de la suplementación se pueden incluir (Kellaway & Porta, 1993): 1) aumentar la producción de leche por vaca, 2) incrementar la carga y la producción de leche por unidad de superficie, 3) mejorar el uso de la pastura a través de mayores cargas, 4) mantener o mejorar el estado corporal en épocas de limitaciones de pastura para mejorar la reproducción, 5) alargar la lactancia en esas época y 6) elevar el contenido de proteína en leche a través de la suplementación energética.

Existen revisiones bibliográficas previas sobre producción y digestión de vacas lecheras en pastoreo (Doyle, Stockdale & Lawson, 1996; Kellaway & Porta, 1993; Leaver, 1985; Stockdale, 2000b). Sin embargo, la mayoría de esas revisiones se focalizaron en estudios conducidos con vacas lecheras de baja producción. El objetivo de esta revisión bibliográfica es resumir el efecto de la suplementación sobre el comportamiento en pastoreo, el consumo de materia seca de pastura y total, la producción y composición de la leche, y la digestión ruminal y post-ruminal de vacas lecheras de alta producción en pastoreo. A los propósitos de esta revisión, vacas lecheras de alta producción son definidas como aquellas que producen más de 25 kilogramos diarios de leche en lactancia temprana y alrededor de 20 kilogramos diarios en lactancia tardía. Esta revisión se focaliza en investigaciones realizadas en Estados Unidos, pero información de otros países que usan sistemas pastoriles fue también incluida (Argentina, Australia, Francia, Irlanda, Nueva Zelanda y Reino Unido).

Consumo de materia seca en vacas en pastoreo

El bajo consumo de materia seca ha sido identificado como el principal limitante en la producción de leche de vacas de alta producción en sistemas pastoriles (Kolver & Muller, 1998; Leaver, 1985; McGilloway & Mayne, 1996). Leaver (1985) sugirió que vacas de alta producción en dietas de solo pastura pueden llegar a presentar un consumo total de materia seca de 3,25% del peso vivo. Mayne y Wright (1988) estimaron que sin restricciones de cantidad y calidad de pastura, el consumo de materia seca de vacas de alta producción puede alcanzar 3,5% del peso vivo. El número de estudios hechos en Estados Unidos con vacas de alta producción en dietas de solo pastura es limitado (Bargo, Muller, Delahoy & Cassidy, 2002; Kolver & Muller, 1998; Reis & Combs, 2000b). Kolver y Muller (1998) reportaron que vacas en lactancia temprana, consumiendo una pastura de alta calidad en la primavera, tuvieron un consumo de materia seca de 19 kilos o 3,4% del peso vivo. Sin embargo, cuando se las comparó con vacas en una dieta total mezclada (TMR), las vacas en pastoreo consumieron 4,4 kilos menos de materia

seca. Los consumos de materia seca y energía neta de lactancia fueron menores en las vacas en pastoreo, sin embargo los consumos de proteína bruta y fibra detergente neutro no difirieron entre las vacas en pastoreo y las vacas en dieta total mezclada. La diferencia en consumo de materia seca, más que la diferencia en el contenido de energía de la pastura por kilogramo de materia seca, pareció ser el principal factor responsable del menor consumo de energía y producción de leche (Kolver & Muller, 1998). El consumo de materia seca de vacas lecheras no suplementadas aumentó de 17,7 kilos diarios o 2,9% del peso vivo a 20,5 kilos diarios o 3,4% del peso vivo cuando la disponibilidad de pastura aumentó de 25 a 40 kilos diarios de materia seca por vaca (Bargo et al., 2002).

- **Efecto de la disponibilidad de pastura**

Diversos factores de la pastura afectan el consumo de materia seca (Hodgson & Brookes, 1999; Poppi, Hughes & L'Huillier, 1987), entre ellos la cantidad de pastura previa al pastoreo (kilogramo de materia seca por hectárea) y la disponibilidad de pastura (cantidad de pastura ofrecida por vaca; kilogramo diario de materia seca por vaca).

Diversos investigadores (Dalley, Roche, Grainger & Moate, 1999; Stockdale, 1985) han reportado que el consumo de materia seca de pastura está muy relacionado con la disponibilidad de pastura. La relación entre el consumo de materia seca de pastura y la disponibilidad de pastura ha sido descrita como asintótica (Dalley et al., 1999; Peyraud, Comerón, Wade & Lemaire, 1996; Poppi et al., 1987). Sin embargo, no se conoce con precisión que disponibilidad de pastura es requerida para maximizar el consumo de materia seca. En la revisión de Leaver (1985) se propuso que el máximo consumo de materia seca se obtiene con una disponibilidad de pastura entre 45 y 55 gramos de materia seca por kilo de peso vivo o 27 a 33 kilos diarios de materia seca por vacas, si pesan 600 kilogramos.

Resumiendo siete trabajos (Bargo et al., 2002; Dalley et al., 1999; Dalley, Roche, Grainger, & Moate 2001; Delaby, Peyraud & Delagarde, 2001; Peyraud et al., 1996; Stockdale, 2000a; Wales, Williams & Doyle, 2001), para un rango de disponibilidad de pastura de 20 a 70 kilos diarios de materia seca por vaca, el consumo de materia seca de pastura aumentó en promedio 0,19 kilo por cada kilogramo de incremento en disponibilidad de pastura (rango: 0,17 a 0,24 kg/kg). Los datos de esos siete trabajos fueron usados para estimar una ecuación por

regresión considerando el efecto de estudio (St-Pierre, 2001).

El análisis de regresión para el consumo de materia seca de pastura (CMSP) resultó en un modelo que incluyó disponibilidad de pastura (DP) y su término cuadrático:

$$\text{CMSP} = 7,79 + 0,26 \text{ DP} - 0,0012 \text{ DP}^2; R^2 = 0,9.$$

Con base en esta ecuación, la disponibilidad de pastura óptima para maximizar el consumo de materia seca de pastura (21,87 kg/d) es de 110 kilos diarios de forraje verde por vaca, y el consumo de materia seca de pastura aumenta 0,26 kilos por kilogramo de aumento con disponibilidad de pastura menores a 110 kilos diarios de forraje verde por vaca.

• Ecuaciones para estimar el consumo de materia seca en vacas en pastoreo

Debido a que la estimación del consumo de materia seca en vacas en pastoreo demanda el uso de técnicas costosas y complejas, se han desarrollado ecuaciones basadas en características del animal y la pastura para predecir el consumo de materia seca (Caird & Holmes, 1986; Vazquez & Smith, 2000). Caird y Holmes (1986) usaron datos de nueve experimentos y variables:

Nota: las siglas de estas variables corresponden a las iniciales de sus nombres en inglés.

- Consumo de materia orgánica: TOMI (kg/d).
- Consumo de materia orgánica de pastura.
- Consumo de materia seca de concentrado: CDMI (kg/d)
- Peso vivo: BW (kg).
- Producción de leche: MY (kg/d).
- Digestibilidad de la materia orgánica del forraje.
- Semana de lactancia.
- Cantidad de pastura: HM (ton MO/ha).
- Disponibilidad de pastura (HAL, kg MO/vaca/d).
- Altura de pastura (SHT, cm).

Para vacas en pastoreo rotativo, la mejor ecuación ($R^2 = 0,68$) fue:

$$\text{TOMI} = 0,323 + 0,177\text{MY} + 0,010\text{BW} + 1,636\text{C} - 1,008\text{HM} + 0,540\text{HAL} - 0,006\text{HAL}^2 - 0,048\text{HAL} \times \text{C}.$$

Vazquez y Smith (2000) usaron datos de 27 estudios en pastoreo con vacas lecheras para obtener ecuaciones de regresión para predecir el consumo de materia seca de pastura y total. Las variables usadas incluyeron:

- Leche corregida por 4% de grasa: FCM (kg/d).

- Días desde el parto.
- Disponibilidad de pastura: PA (kg DM).
- Fibra detergente neutro en la pastura ofrecida: NDFp (% MS).
- Fibra detergente neutro en la pastura consumida: NDFs (% MS).
- Porcentaje de leguminosas en la pastura: LEG (%).
- Cantidad de concentrado suplementado (kg MS).
- Cantidad de forraje suplementado (kg MS).
- Suplementación total: SUP (kg MS).
- La interacción entre disponibilidad de pastura y suplementación total: PASUP.
- Peso vivo: BW (kg).
- Cambio de peso vivo: CBW (kg/d).

La mejor ecuación ($R^2 = 0,95$) para estimar consumo total de materia seca (TDMI) fue:

$$\text{TDMI} = 4,47 + 0,14\text{FCM} + 0,024\text{BW} + 2,00\text{CBW} + 0,04\text{PA} + 0,022\text{PASUP} + 0,10\text{SUP} - 0,13\text{NDFp} - 0,037\text{LEG}$$

La mejor ecuación para estimar consumo de materia de pastura (PDMI) ($R^2 = 0,91$) fue:

$$\text{PDMI} = 4,47 + 0,14\text{FCM} + 0,024\text{BW} + 2,00\text{CBW} + 0,04\text{PA} + 0,022\text{PASUP} - 0,90\text{SUP} - 0,13\text{NDFp} - 0,037\text{LEG}$$

Las ecuaciones desarrolladas por Caird y Holmes (1986) y Vazquez y Smith (2000) difieren de la ecuación usada por el NRC (2001) porque incluyen variables de la pastura y los suplementos, mientras que la ecuación del NRC (2001) para consumo de materia seca (DMI) está basada únicamente en variables del animal como:

- Leche corregida por grasa: FCM (kg/d)
- Peso vivo: BW (kg)
- Semana de lactancia: WOL.

$$\text{DMI} = (0,372 \times \text{FCM} + 0,0968 \times \text{BW}^{0,75}) \times (1 - e^{(-0,192 \times (\text{WOL} + 3,67))})$$

Se usó un grupo de 56 datos de Bargo, Muller, Delahoy y Cassidy (2000), quienes midieron el consumo de materia seca en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con 8,7 kilos diarios usando óxido crómico. La información sobre las vacas, la pastura, y el suplemento reportados en ese estudio (Bargo et al., 2000) fueron usadas para estimar consumo de materia seca usando las ecuaciones de Caird y Holmes (1986), Vazquez y Smith (2000) y el NRC (2001). El consumo de materia seca estimado por la ecuación del NRC (2001) (21,9 kg/d) o Caird y Holmes (1986) (21,2 kg/d) no difirieron del consumo de materia seca medido usando óxido crómico (21,6 kg/d) ($P > 0,05$), pero la estimación de consumo de materia seca por

la ecuación de Vazquez y Smith (2000) (24,4 kg/d) fue mayor que el consumo de materia seca medido ($P < 0,05$). Esto indica que la estimación de consumo de materia seca, usando las ecuaciones de Caird y Holmes (1986) y el NRC (2001), fue precisa para este grupo de datos de vacas en pastoreo, con la ventaja de que la ecuación del NRC (2001) es más simple y requiere únicamente factores del animal.

Comportamiento en pastoreo

- **Efecto de la suplementación sobre el comportamiento en pastoreo**

El consumo de materia seca de vacas en pastoreo puede ser expresado como el producto entre tiempo de pastoreo (min/d), tasa de bocados (bocados/min) y peso de bocado (g MS/bocado) (Hodgson & Brookes, 1999; Rook, 2000). Resumiendo siete trabajos (Arriaga-Jordan & Holmes, 1986; Bargo et al., 2002; Delagarde, Delaby & Peyraud, 1997; Gibb, Huckle & Nuthall, 2002; Kibon & Holmes, 1987; Rook, Huckle & Penning, 1994; Sayers, 1999), la suplementación con

concentrados (promedio: 4,1 kg/d; rango: 2 a 8 kg/d) no afectó la tasa de bocados (promedio: 58 bocados/min; rango: 45 a 78 bocados/min) o el peso de bocado (promedio: 0,46 g MS/bocado; rango: 0,27 a 0,64 g MS/bocado) pero redujo el tiempo de pastoreo a 34 minutos diarios en comparación con dietas de solo pastura (ES 9 min/d, rango: -212 a 25 min/d; t-test, significativamente diferente de cero, $P < 0,01$). El análisis de regresión, considerando el efecto estudio (St-Pierre, 2001), resultó en una relación negativa entre tiempo de pastoreo (TP, min/d) y consumo de materia seca de concentrado (CMSC, kg/d):

$$TP = 578 - 12 \text{ CMSC} \quad (R^2 = 0,88)$$

En promedio, el tiempo de pastoreo de vacas no suplementadas es 578 minutos diarios y el tiempo de pastoreo es reducido 12 minutos diarios por cada kilo de concentrado.

Tasa de sustitución y respuesta a la suplementación

Cuando las vacas en pastoreo reciben suplementos, el consumo de materia seca de pastura

generalmente disminuye, lo cual es conocido como tasa de sustitución (TS; Kellaway & Porta, 1993). La tasa de sustitución es calculada como:

$$TS \text{ (kg/kg)} =$$

$$\frac{\text{Consumo de MS de pastura en vacas no suplementadas} - \text{Consumo de MS en vacas suplementadas}}{\text{Consumo de MS suplemento}}$$

Consumo de MS suplemento

Una tasa de sustitución menor de 1 kg/kg significa que el consumo total de materia seca en las vacas suplementadas es mayor que el consumo total de materia seca en las vacas no suplementadas. Una tasa de sustitución igual a 1 kg/kg significa que el consumo total de materia seca en las vacas suplementadas es el mismo que en las vacas no suplementadas. La tasa de sustitución es uno de los principales factores que explican la variación observada en la respuesta en leche a la suplementación (Kellaway & Porta, 1993; Stockdale, 2000a).

- **Disponibilidad de pastura**

Diversos estudios han reportado que la tasa de sustitución aumenta a medida que la disponibilidad de pastura se incrementa (Bargo et al., 2002; Grainger & Mathews, 1989; Meijs & Hoekstra, 1984; Robaina,

Grainger, Moate, Taylor & Stewart, 1998; Stakelum, 1986a; 1986b; Stockdale & Trigg, 1985). Al dividir esos estudios en baja disponibilidad de pastura (< 25 kg MS/vaca/d; rango: 7,6 a 25 kg MS/vaca/d) o alta disponibilidad de pastura (> 25 kg MS/vaca/d; rango: 25 a 42,3 kg MS/vaca/d), la tasa de sustitución promedió 0,20 kilo de pastura por kilo de concentrado (rango: 0 a 0,31 kg pastura/kg concentrado) a baja disponibilidad de pastura, y 0,62 kilo de pastura por kilo de concentrado (rango: 0,55 a 0,69 kg pastura/kg concentrado) a alta disponibilidad de pastura. Estudios en pastoreo, que evaluaron el efecto de disponibilidad de pastura sobre la tasa de sustitución y la respuesta a la suplementación en vacas lecheras de alta producción reportaron que la tasa de sustitución aumentó y la respuesta a la suplementación disminuyó a medida que la disponibilidad de pastura se acrecentó. Esos estudios mostraron una relación negativa entre respuesta a la suplementación (RL, kg leche/kg suplemento) y tasa de sustitución (TS, kg pastura/kg concentrado) (Figura 1), lo que indica que a menor tasa de sustitución, mayor respuesta en leche:

$$RL = 1,71 - 2,01 \times TS \quad (R^2 = 0,43)$$

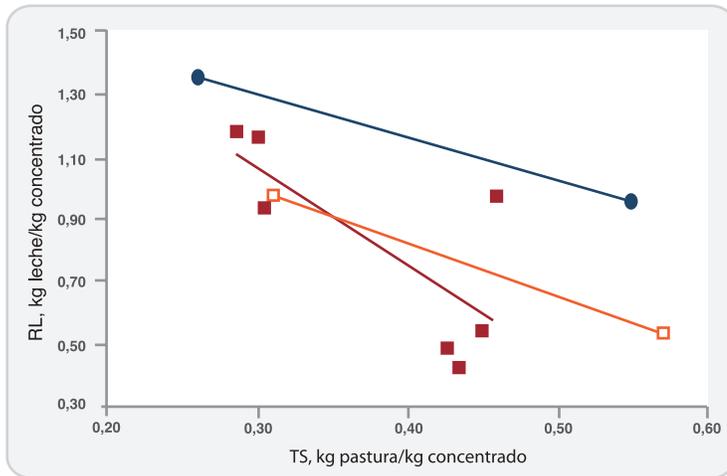


Figura 1.

Relación entre respuesta en producción de leche (RL) y tasa de sustitución (TS) en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrados y evaluando el efecto de la disponibilidad de pastura (Bargo et al., 2002; Robaina et al., 1998; Stockdale, 1999a).

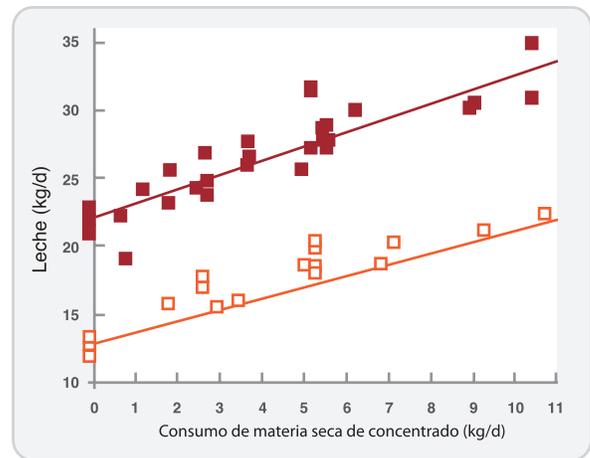


Figura 2.

Relación entre producción de leche (PL) y consumo de materia seca de concentrado (CMSC) en vacas lecheras en pastoreo, suplementadas con diferentes cantidades de concentrado (estudios con vacas < 90 días en lactancia o > 28 kg leche/d al inicio del experimento; Bargo et al., 2002a; Delaby et al., 2001; Gibb et al., 2002; Reis and Combs, 2000b; Sayers, 1999; estudios con vacas > 160 días en lactancia o < 23 kg leche/d al inicio del experimento; Robaina et al., 1998; Sayers, 1999; Walker et al., 2001).

- Nivel de suplementación: respuesta marginal y total a la suplementación**

La respuesta marginal en producción de leche, al aumentar la cantidad de concentrado, ha sido descrita como curvilínea. El incremento marginal en leche por kilo de concentrado disminuye a medida que la cantidad de concentrado aumenta (Kellaway & Porta, 1993). La respuesta marginal disminuyó por encima de 3 a 4 kilos diarios de concentrado en algunos estudios, pero eso

no fue consistente y ocurrió principalmente cuando la cantidad y la calidad de pastura no fueron limitantes y con vacas lecheras de moderado mérito genético (Peyraud & Delaby, 2001). La respuesta en producción de leche en vacas lecheras de alta producción, suplementadas con diferentes cantidades de concentrado, se muestra en la Figura 2. Los estudios fueron agrupados en dos categorías: 1) aquellos con vacas produciendo más

de 28 kilogramos diarios de leche al inicio del experimento, independientemente del estado de la lactancia o con menos de 90 días en lactancia (Bargo et al., 2002; Delaby et al., 2001; Gibb et al., 2002; Reis & Combs, 2000b; Sayers, 1999), y 2) aquellos con vacas produciendo menos de 23 kilogramos diarios de leche al inicio del experimento y más de 160 días en lactancia (Robaina et al., 1998; Sayers, 1999; Walker, Stockdale, Wales, Doyle & Dellow, 2001).

Al combinar los 5 estudios del primer grupo y después de considerar el efecto estudio (St-Pierre, 2001), se encontró una regresión lineal significativa entre producción de leche (PL, kg/d) y consumo de materia seca de concentrado (CMSC, kg/d), así:

$$PL = 22,20 + 1,03 \text{ CMSC} \quad (R^2 = 0,95)$$

Lo que indica una respuesta en producción de leche promedio de 1 kilo de leche por kilo de concentrado (Figura 2). Combinando los tres estudios del segundo grupo y considerando el efecto estudio (St-Pierre, 2001), se encontró una regresión cuadrática significativa entre producción de leche (PL, kg/d) y consumo de materia seca de concentrado (CMSC, kg/d):

$$MY = 12,92 + 1,23 \text{ CDMI} - 0,04 \text{ CDMI}^2 \quad (R^2 = 0,94)$$

Esto demuestra una reducción en la respuesta marginal a medida que el consumo de materia seca de concentrado aumentó (Figura 2).

La intercepción al eje Y (12,9 vs. 22,4 kg/d) en la Figura 2 muestra las diferencias en estado de la lactancia y podría indicar también diferencias en mérito genético entre ambos grupos, sin embargo ambos efectos están confundidos. De esta figura se puede concluir que la producción de leche, de vacas

lecheras de alta producción en lactancia temprana, aumenta linealmente a medida que el consumo de materia seca de concentrado se eleva hasta 10 kilos diarios, con una respuesta promedio de 1 kilo de leche por kilo de concentrado. La producción de leche de vacas de alta producción en lactancia tardía, sin embargo, aumenta a medida que la cantidad de concentrado se incrementa, pero con una menor respuesta marginal por kilo de concentrado. A fin de evitar problemas metabólicos, como acidosis clínica o subclínica, no es recomendable suplementar con más de 10 kilos diarios (o más del 50% del consumo de materia seca total de la dieta). Considerando ese límite, la reducción en la respuesta marginal tradicionalmente descrita no ocurriría en vacas de alta producción.

• Causas de la tasa de sustitución

Se ha hipotetizado que la tasa de sustitución es causada por efectos asociativos negativos en el rumen (Dixon & Stockdale, 1999) o por reducciones en el tiempo de pastoreo (McGilloway & Mayne, 1996). Cuando los concentrados son incluidos en las dietas pastoriles, efectos asociativos pueden ocurrir si las interacciones digestivas y metabólicas entre concentrado y pastura cambian el consumo

de energía (Dixon & Stockdale, 1999). Un aumento en la digestibilidad total puede ser esperado con la inclusión de concentrados en la dieta, porque son usualmente mayores en digestibilidad que la pastura. No obstante, interacciones entre la digestión de concentrados y pastura pueden reducir la digestión de la fibra (Dixon & Stockdale, 1999). La energía provista por el concentrado (carbohidratos fermentables) puede resultar en reducciones en pH ruminal, lo cual puede disminuir la actividad o el número de bacterias celulolíticas, reducir la tasa de digestión de la fibra de la pastura y, por lo tanto, mermar el consumo de materia seca de la pastura (Dixon & Stockdale, 1999).

La segunda hipótesis, propuesta para explicar la tasa de sustitución, está relacionada con el tiempo de pastoreo. Se ha sugerido que la reducción en tiempo de pastoreo debido a la suplementación explicaría la tasa de sustitución (Mayne & Wright, 1988; McGilloway & Mayne, 1996). Bargo et al. (2002) estudiaron la digestión ruminal y el tiempo de pastoreo de vacas de alta producción, pastoreando a baja o alta disponibilidad de pastura, para poner a prueba ambas hipótesis sobre la tasa de sustitución. La tasa de sustitución fue mayor (0,55 vs. 0,26 kg pastura/kg concentrado) cuando las vacas suplementadas pastorearon a

alta disponibilidad de pastura (40 vs. 25 kg MS/vaca/d), lo cual fue relacionado con efectos asociativos negativos en el rumen y reducciones en el tiempo de pastoreo. La suplementación con 7,9 kilos diarios de un concentrado base grano de maíz redujo el pH ruminal, la tasa de degradación de la pastura en el rumen y la digestibilidad de la fibra a ambas disponibilidades de pastura (Bargo et al., 2002). El tiempo de pastoreo fue reducido 75 minutos diarios, con la suplementación a baja disponibilidad de pastura, y eso explicó los 2,0 kilos diarios de reducción en el consumo de materia seca de pastura encontrados al medir dicho consumo usando oxido crómico (75 min/d x 55 bocados/min x 0,55 g MS/bocado = 2,3 kg/d). A alta disponibilidad de pastura, la suplementación con concentrado redujo el tiempo de pastoreo en 104 minutos diarios y explicó el 80% de los 4,4 kilos diarios de reducción en consumo de materia seca de pastura medidos (104 min/d x 56 bocados/min x 0,60 g MS/bocado = 3,5 kg). El restante 20% de la reducción podría estar relacionado con efectos asociativos negativos en el rumen, por ejemplo, la reducción en digestibilidad aparente del fibra detergente neutro con la suplementación fue mayor a alta que a baja disponibilidad de pastura (4,3 vs. 1,1 unidades porcentuales, respectivamente; Bargo et al., 2002).

- **Efecto de la suplementación sobre el consumo de materia seca y la producción y composición de la leche**

1) Suplementación con energía

Nivel de suplementación

Diversos estudios fueron conducidos con vacas lecheras de alta producción en pastoreo, para evaluar el efecto de la cantidad de concentrado sobre el consumo de materia seca y la producción y composición de la leche (Arriaga-Jordan & Holmes, 1986; Bargo et al., 2002; Dillon, Crosse & O'Brien, 1997; Hoden et al., 1991; Reis & Combs, 2000b; Robaina et al., 1998; Sayers, 1999; Spörndly, 1991; Valentine, Clayton, Hudson & Rowe, 2000; Walker et al., 2001; Wilkins, Gibbs, Huckle & Clements, 1994). Para el rango de cantidad de concentrado suplementado en esos estudios (1,8 a 10,4 kg MS/vaca/d), el consumo de materia seca de pastura disminuyó 1,9 kilo diario (ES 0,3 kg/d, rango: -0,1 a -4,4 kg/d; t-test, significativamente diferente de cero, $P < 0,01$) o 13% en comparación con dietas de solo pastura (14,8 kg/d). El consumo de materia seca total aumentó 3,6 kilos diarios

(ES 0,5 kg/d, rango: 1,0 a 7,5 kg/d; t-test, significativamente diferente de cero, $P < 0,01$) o 24% en comparación con el consumo de materia seca total de dietas solo pastura.

Los estudios resumidos reportaron que la producción de leche aumentó en promedio 4,4 kilos diarios (ES 0,6 kg/d, rango: 0,8 a 10,6 kg/d; t-test, significativamente diferente de cero, $P < 0,01$) con la suplementación o 22% en comparación con dietas solo pastura (19,7 kg/d). También que la suplementación redujo el porcentaje de grasa en leche en promedio 0,24 unidades porcentuales (ES 0,07 unidades porcentuales, rango: -1,23 a 0,22 unidades porcentuales; t-test, significativamente diferente de cero, $P < 0,01$) o 6% en comparación con dietas solo pastura (4,04%). La suplementación con concentrados aumentó el porcentaje de proteína en leche en promedio 0,13 unidades porcentuales (ES 0,01 unidades porcentuales, rango: 0,01 a 0,25 unidades porcentuales; t-test, significativamente diferente de cero, $P < 0,01$) o 4% en comparación con dietas solo pastura (3,06%).

Concentrados almidonosos vs. concentrados fibrosos

Estudios comparando estos dos tipos de concentrados usaron fuentes de almidón como grano de maíz (Delahoy, Bargo, Muller

& Holden, 2002; Schwarz, Haffner & Kirchgessner, 1995; Valk, Klein Poelhuis & Wentink, 2000), cebada (Spörndly, 1991), tapioca (Meijs, 1986), o la combinación de cebada, trigo y maíz (Garnsworthy, 1990; Sayers, 1999) y fuentes de fibra como afrecho de avena (Garnsworthy, 1990), y pulpa de remolacha sola (Schwarz et al., 1995; Spörndly, 1991; Valk et al., 2000) o combinada con cascarilla de soya (Delahoy et al., 2002; Meijs, 1986) o pulpa de cítricos (Sayers, 1999). Debido a que las fuentes de almidón son las comúnmente utilizadas para suplementar las vacas lecheras en pastoreo, los resultados de estos estudios se resumieron como el efecto de los suplementos fibrosos en comparación con los suplementos almidonosos.

En promedio, los concentrados fibrosos aumentaron ligeramente el consumo de materia seca de pastura 0,13 kilos diarios, pero con una larga variación entre estudios (rango: -0,7 a 1,4 kg/d). La producción de leche fue ligeramente reducida (-0,46 kg/d) cuando los suplementos fibrosos reemplazaron a los suplementos almidonosos, pero nuevamente el rango de variación es grande (-2,6 a 1,3 kg/d). La mayoría de los estudios (Delahoy et al., 2002; Garnsworthy, 1990; Meijs, 1986; Schwarz et al., 1995; Valk et al., 1990) no reportaron cambios en el porcentaje de grasa en leche. Sin embargo,

Sayers (1999) reportó un mayor contenido de grasa en leche con los suplementos fibrosos especialmente al suplementar altas cantidades de concentrado (10 kg/d). En promedio, el porcentaje de proteína en leche fue reducido - 0,06 unidades porcentuales (rango: -0,21 a 0,05 unidades porcentuales) con la suplementación con concentrados fibrosos en comparación con concentrados almidonosos.

El número de estudios donde concentrados fibrosos reemplazaron concentrados almidonosos es pequeño como para sacar conclusiones claras, y la mitad de los estudios fueron conducidos en confinamiento con pasto fresco. La inconsistencia en los resultados puede atribuirse a diferencias en la fuente de almidón o fibra, el tipo de pastura y otros componentes de la dieta, todos factores que afecta la tasa de degradación de los concentrados en el rumen.

Granos procesados

Los métodos de procesamiento de granos usados en vacas lecheras han sido extensamente revisados (Theurer, Huber, Delgado-Elorduy & Wanderley, 1999), sin embargo solo para vacas lecheras en dietas de confinamiento tipo TMR. Algunos estudios evaluaron recientemente el efecto del procesamiento de granos como

maíz o sorgo en el consumo de materia seca y la producción y composición de la leche (Alvarez, Santini, Rearte & Elizalde, 2001; Bargo, Pieroni & Rearte, 1998; Delahoy et al., 2002; Pieroni, Bargo & Rearte, 1999; Reis & Combs, 2000a; Reis, San Emeterio, Combs, Satter & Costa, 2001; Soriano, Polan. & Miller, 2000; Wu, Massingill, Walgenbach & Satter, 2001). Los resultados se resumen con el efecto de los granos procesados en comparación con los granos sin procesar. Las formas de procesamiento incluyeron silo de grano húmedo (Alvarez et al., 2001; Reis et al., 2001; Soriano et al., 2000; Wu et al., 2001), copos de maíz con una densidad de 290 gramos por litro (Bargo et al., 1998) o 360 gramos por litro (Delahoy et al., 2002), maíz rolado con una densidad de 591 gramos por litro (Reis & Combs, 2000a), y copos de sorgo con una densidad de 480 gramos por litro (Pieroni et al., 1999).

Cuatro de los cinco estudios no reportaron diferencias en consumo de materia seca de pastura y total cuando el grano de maíz sin procesar fue reemplazado por grano procesado (Alvarez et al., 2001; Delahoy et al., 2002; Reis & Combs, 2000a; Reis et al., 2001). Excepto el trabajo de Wu et al. (2001), ninguno de los otros estudios reportó incrementos en producción de leche cuando granos tratados con vapor o granos húmedos

reemplazaron granos secos. En promedio, la diferencia en producción entre granos procesados y sin procesar fue pequeña (promedio 0,06 kg/d, rango: -1,6 a 2,4 kg/d), indicando que una similar producción de leche puede esperarse con uno u otro tipo de grano.

En comparación con granos sin procesar, la suplementación con granos procesados no cambió el porcentaje de grasa en leche en siete de los ocho estudios (Alvarez et al., 2001; Bargo et al., 1998; Delahoy et al., 2002; Pieroni et al., 1999; Reis & Combs, 2000a; Reis et al., 2001; Soriano et al., 2000). Dos de los ocho estudios (Alvarez et al., 2001; Wu et al., 2001) encontraron un mayor porcentaje de proteína en leche con silo de grano húmedo en comparación con grano de maíz seco. El aumento en contenido de proteína promedió 3% (0,09 a 0,11 unidades porcentuales), lo cual sugeriría un incremento en la cantidad de energía disponible en el rumen con el grano procesado. En promedio, el reemplazo de granos sin procesar por granos procesados resultó en pequeños cambios en porcentaje de grasa (promedio: -0,06 unidades porcentuales, rango: -0,39 a 0,16 unidades porcentuales) y proteína (promedio: 0,04 unidades porcentuales, rango: -0,03 a 0,11 unidades porcentuales) en leche. Aunque el número de estudios no es lo suficientemente grande como

para sacar claras conclusiones, la falta de respuesta a los granos procesados puede estar relacionada con un cambio en el sitio de digestión sin afectar el consumo total de energía.

2) Suplementación con proteína no degradable en rumen

El uso de fuentes de proteína no degradable en rumen (PNDR) en vacas lecheras ha sido extensamente revisado por Santos, Santos, Theurer & Huber (1998), sin embargo, dicha revisión se focalizó en dietas de tipo TMR en confinamiento. Recientemente, algunos estudios fueron conducidos con vacas lecheras en lactancia temprana (< 75 días en lactancia) suplementadas con concentrados isonitrogenados de 14 a 24% de proteína bruta, donde fuentes de proteína degradable en rumen como harina de soya (Hongerholt & Muller, 1998; McCormick et al., 1999; 2001a; 2001b; Schor & Gagliostro, 2001), harina de girasol (Bargo, Rearte, Santini & Muller, 2001; Schroeder & Gagliostro, 2000) y urea o harina de colza (Tesfa, Virkajarvi, Tuoril & Syrjala-Qvist, 1995) fueron reemplazadas por fuentes de PNDR como mezcla de proteínas animales (Hongerholt & Muller, 1998), *corn gluten meal* (McCormick et al., 1999; 2001a), expeller de soja

(McCormick, Redfearn, Ward. & Blouin, 2001b), harina de sangre (McCormick et al., 2001a; Schor & Gagliostro, 2001), harina de pluma (Bargo et al., 2001), harina de colza tratada con calor (Tesfa et al., 1995) y harina de pescado (Schroeder & Gagliostro, 2000).

El consumo de materia seca de pastura no fue afectado por el uso de PNDR en el concentrado en cinco de los siete estudios (Bargo et al., 2001; Hongerholt & Muller, 1998; McCormick et al., 1999; 2001a; Tesfa et al., 1995). En cambio, Schor & Gagliostro (2001) encontraron que el reemplazo de proteína degradable en rumen por PNDR resultó en un mayor consumo de materia seca en vacas pastoreando raigrás perenne y trébol rojo. De los ocho estudios, solamente dos (Schor & Gagliostro, 2001; Schroeder & Gagliostro, 2000) reportaron un incremento en producción de leche con la suplementación con PNDR. La respuesta en leche tuvo un rango de 6% (Schroeder & Gagliostro, 2000) a 18% (Schor & Gagliostro, 2001). La mayoría de los estudios encontraron que la suplementación con PNDR no afectó ni la grasa ni la proteína de la leche.

La cantidad de PNDR de la dieta que escapa del rumen en vacas en pastoreo es función del consumo de materia seca de pastura y su contenido de PNDR, y del consumo de materia seca de suplemento y su contenido de PNDR. La especie de la pastura

tiene una gran influencia en la cantidad de PNDR que escapa del rumen. Por ejemplo, un verdeo de avena con 18,4% de proteína bruta y 19,3% PNDR (% PB) resultó en 472 gramos diarios de PNDR total (Bargo et al., 2001), mientras que una pastura de pasto ovillo con 24,8% de proteína bruta y 39,1% PNDR (% PB) resultó en 1.096 gramos diarios de PNDR total (Hongerholt & Muller, 1998). El consumo total de PNDR fue aumentado, en gramos diarios, de 893 a 1.153 (Bargo et al., 2001), de 1.077 a 1.234 (Hongerholt & Muller, 1998), de 1.316 a 1.680 (McCormick et al., 1999), de 1.109 a 1.593 (McCormick et al., 2001a), de 1.710 a 1.869 (McCormick et al., 2001b) y de 1.011 a 1.647 (Schor & Gagliostro, 2000).

3) Suplementación con forraje

Suplementación con silo de maíz

El silo de maíz fue suplementado a vacas lecheras en dietas de solo pastura (Stockdale, 1994) o pastura más concentrado suministrado a bajas (3,2 kg/d; Valk, 1994) o altas (8,7 kg/d; Holden, Muller, Lykos & Cassidy, 1995) cantidades. La respuesta en leche a la suplementación con silo de maíz depende de la cantidad de pastura ofrecida, lo cual determina la tasa de sustitución y el consumo de

materia seca total (Phillips, 1988). La suplementación con silo de maíz tuvo un efecto positivo sobre la producción de leche cuando la cantidad de pastura ofrecida fue baja (Stockdale, 1994). Cuando la disponibilidad de pastura fue alta, la suplementación con 2,3 kilos diarios de materia seca de silo de maíz redujo el consumo de materia seca de pastura y resultó en un consumo de materia seca total similar y, por lo tanto, en una similar producción de leche (Holden et al., 1995).

La suplementación con silo de maíz no afectó el porcentaje de grasa en leche (Holden et al., 1995; Stockdale, 1994; Valk, 1994). Holden et al. (1995) reportó un contenido similar de proteína cuando la suplementación con silo de maíz no aumento el consumo de materia seca total. Sin embargo, Stockdale (1994) reportó un mayor porcentaje de proteína cuando la suplementación con 6,5 kilos diarios de materia seca de silo de maíz aumentó el consumo de materia seca total. En una revisión muy completa, Phillips (1988) concluyó que la suplementación con silo de maíz aumenta la producción de leche si la cantidad de pastura ofrecida es limitante pero si la cantidad de pastura ofrecida no es limitante esta no se ve afectada.

Suplementación con heno

Cuatro estudios sobre suplementación con heno a

vacas lecheras de alta producción fueron conducidos en lactancia temprana y suplementadas también con altos (> 8 kg MS/d; Reis & Combs, 2000; Rearte, Kesler & Hargrove, 1986a; 1986b) o bajos (< 8 kg MS/d, Wales et al., 2001) niveles de concentrado, y un solo estudio (Stockdale, 1999b) con vacas recibiendo heno como único suplemento. El heno fue suplementado en diferentes formas incluyendo heno largo (Rearte et al., 1986a; Reis & Combs, 2000a), heno picado agregado al concentrado (Rearte et al., 1986a), o pellets o cubos de heno (Wales et al., 2001). La cantidad de heno suplementado varió de 0,9 (Rearte et al., 1986a) a 3,9 kilos diarios (Stockdale, 1999b).

Diferentes formas y cantidades de heno redujeron el consumo de materia seca de pastura en un promedio de 3,5 kilos diarios (rango: 0,8 a 5,6 kg/d). El efecto de la suplementación con heno sobre el consumo de materia seca total dependió de la tasa de sustitución. Tres estudios con vacas lecheras en lactancia temprana (Rearte et al., 1986b; Reis & Combs, 2000a; Wales et al., 2001) reportaron no respuesta en producción de leche con la suplementación con heno, mientras uno (Rearte et al., 1986a) encontró una mayor producción de leche cuando el heno fue suplementado largo pero similar producción de leche cuando el heno fue picado y agregado al concentrado. La mayoría de los estudios (Rearte et al.,

1986b; Reis & Combs, 2000a; Stockdale, 1999b; Wales et al., 2001) no encontraron efecto de la suplementación con heno sobre el porcentaje de grasa en leche, excepto por Rearte et al. (1986a) quien reportó un menor contenido de grasa con el heno largo. Ningún estudio (Rearte et al., 1986a; 1986b; Reis & Combs, 2000a; Stockdale, 1999b; Wales et al., 2001) reportó cambios en el porcentaje de proteína en leche con la suplementación con heno.

La suplementación con heno plantea la pregunta sobre cuáles son los requerimientos de fibra de vacas lecheras en pastoreo. Las recomendaciones recientes del NRC (2001) sugieren para vacas lecheras un mínimo de 25% fibra detergente neutro y 19% de esa fibra detergente neutro proveniente del forraje que cumpla las siguientes condiciones: forraje con adecuado tamaño de partícula, grano de maíz seco como fuente predominante de almidón y dietas suministradas como TMR. Cuando los concentrados son suministrados dos veces por día y en forma separada del forraje, los requerimientos de fibra detergente neutro son desconocidos pero probablemente mayores a 25% (NRC, 2001). El NRC (2001) concluye que debido a la falta de datos, no es posible hacer recomendaciones específicas para requerimientos de fibra detergente neutro en vacas en pastoreo.

4) Suplementación con grasas

En algunos de los estudios sobre suplementación con grasas a vacas lecheras en pastoreo, las grasas reemplazaron parcialmente alguno de los ingredientes del concentrado suplementado (Gallardo, Valtorta, Leva, Castro & Maíztegui, 2001; Garnsworthy, 1990), mientras que en otros estudios las grasas fueron agregadas a una cantidad base de concentrado (Agenäs, Holtenious, Griinari & Burstedt, 2002; King, Stockdale & Trigg, 1990; Schroeder, Gagliostro, Becu-Villalobos & Lacau-Mengido, 2002). Fuentes de grasas usadas incluyeron grasas inertes en el rumen como grasa hidrogenada de pescado (Gallardo et al., 2001), sales de calcio y ácidos grasos de cadena larga (Garnsworthy, 1990), ácidos grasos de alto punto de fusión (King et al., 1990; Schroeder et al., 2002), o grasas no inertes en el rumen como semilla de colza (Murphy, Connolly & McNeill, 1995) o aceite de soya (Agenäs et al., 2002). La cantidad de grasa suplementada varió de 200 (Gallardo et al., 2001) a 1.000 gramos diarios (Schroeder et al., 2002).

En promedio, la suplementación con grasas no afectó el consumo de materia seca total (-0,3 kg/d, ES 1,3 kg/d, rango: -0,8 a 10,6 kg/d; t-test, significativamente diferente de cero, $P = 0,83$), aumentó la producción de leche 1,43 kilos diarios (ES 0,37 kg/d,

rango: - 0,60 a 2,70 kg/d; t-test, significativamente diferente de cero, $P < 0,01$) o 6%. Ni el porcentaje de grasa (0,025 unidades porcentuales, ES 0,49 unidades porcentuales, rango: -0,95 a 0,55 unidades porcentuales; t-test, significativamente diferente de cero, $P = 0,87$) o proteína (-0,019 unidades porcentuales, ES 0,034 unidades porcentuales, rango: -0,18 a 0,15 unidades porcentuales; t-test, significativamente diferente de cero, $P = 0,59$) fueron afectados por la suplementación con grasas. Sin embargo, estas conclusiones deben ser tomadas con precaución debido al bajo número de estudios y todos ellos conducidos con vacas produciendo menos de 30 kilos diarios.

Conclusiones

El consumo de materia seca total de vacas lecheras, en dietas de solo pastura, es menor que el consumo de materia seca total de vacas lecheras consumiendo una dieta total mezclada TMR o pastura más concentrado, lo cual indica que las vacas lecheras de alta producción necesitan ser suplementadas para alcanzar su potencial genético. La tasa de sustitución, o reducción en el consumo de materia seca de pastura por kilo de suplemento, es el principal factor que explica la variación observada en respuesta en producción de leche a la suplementación.

Existe una relación negativa entre tasa de sustitución y respuesta en leche; cuando la tasa de sustitución es grande (que se refleja en un pequeño incremento en el consumo de materia seca total), la respuesta en leche es baja.

En comparación con dietas de solo pastura, al aumentar la cantidad de concentrado suplementado se incrementó el consumo de materia seca total 24%, la producción de leche 22% y el porcentaje de proteína en leche 4%, pero el porcentaje de grasa en leche fue reducido 6%. La suplementación con concentrados fibrosos o granos procesados no afectó el consumo de materia seca total ni la producción de leche, en comparación con la suplementación con grano de maíz sin procesar. El reemplazo de fuentes de proteína degradable en rumen por fuentes de proteína no degradable en rumen no afectó la producción ni la composición de la leche. La suplementación con forrajes no cambió la producción de vacas lecheras en pastoreo, cuando la tasa de sustitución fue alta. La suplementación con grasas aumentó la producción de leche un 6%, sin afectar el contenido de grasa y proteína.

Referencias

Agenäs, S., Holtenious, K., Griinari, M. & Burstedt, E. (2002). Effects of turnout to

pasture & dietary fat supplementation on milk fat composition & conjugated linoleic acid in dairy cows. *Acta. Agric. Scand., Sect. A, Anim. Sci.*, 52, 25-33.

Alvarez, H.J., Santini, F.J., Rearte, D.H. & Elizalde, V. (2001). Milk production & ruminal digestion in lactating dairy cows grazing temperate pastures & supplemented with dry cracked corn or high moisture corn. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 91, 183-195.

Arriaga-Jordan, C.M. & Holmes, W. (1986). The effect of concentrate supplementation on high yielding dairy cows under two systems of grazing. *J. Agric. Sci.*, 107, 453-461

Bargo, F., Pieroni, G.A. & Rearte, D.H. (1998). Milk production & ruminal fermentation of grazing dairy cows supplemented with dry-ground corn or steam-flaked corn. *Journal of Dairy Science*, 81, (Suppl. 1), 250.

Bargo, F., Rearte, D.H., Santini, F.J. & Muller, L.D. (2001). Ruminal digestion by dairy cows grazing winter oats pasture supplemented with different levels & sources of protein. *Journal of Dairy Science*, 84, 2260-2272.

Bargo, F., Muller, L.D., Delahoy, J.E. & Cassidy, T.W. (2002). 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.D., Delahoy, J.E. & Cassidy, T.W. (2000). Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture or total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 85, (In press).

Caird, L. & Holmes, W. (1986). The prediction of voluntary intake of grazing dairy cows. *J. Agric. Sci.*, 107, 43-54.

Clark, D.A. & Kanneganti, V.R. (1998). Grazing management systems for dairy cattle. En J.H. Cherney & D.J.R. Cherney, (eds), *Grass for dairy cattle*. Oxon, UK: CAB International

Dalley, D.E., Roche, J.R., Grainger, C. & Moate, P. J. (1999). Dry matter intake, nutrient selection & milk production of dairy cows grazing rainfed perennial pastures at different herbage allowances in spring. *Aust. J. Exp. Agric.*, 39, 923-931.

Dalley, D.E., Roche, J.R., Grainger, C. & Moate, P.J. (2001). More frequent allocation of herbage does not improve the milk production of dairy cows in early lactation. *Aust. J. Exp. Agric.*, 41, 593-599.

Delaby, L., Peyraud, J.L. & Delagarde, R. (2001). Effect of the level of concentrate supplementation, herbage allowance & milk yield at turn-out on the performance of dairy cows in mid lactation at grazing. *Anim. Sci.*, 73, 171-181.

Delagarde, R., Delaby, L. & Peyraud, J.L. (1997). The effect of nitrogen fertilization level & protein supplementation on herbage intake, feeding behaviour & digestion in grazing dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 66, 165-180.

Delahoy, J.E., Bargo, F., Muller, D. & Holden, L.A. (2002). Supplemental carbohydrates sources for lactating dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 85, (In press).

Dillon, P., Crosse, S. & O'Brien, B. (1997). Effect of concentrate supplementation of grazing dairy cows in early lactation on

milk production & milk processing quality. *Ir. J. Agric. Food Res.*, 36, 145-159.

Dixon, R.M. & Stockdale, C.R. (1999). Associative effects between forages & grains: consequences for feed utilization. *Aust. J. Agric. Res.*, 50, 757-773.

Doyle, P.T., Stockdale, C.R. & Lawson, A.R. (1996). *Pastures for dairy production in Victoria*. Australia: Agriculture Victoria.

Fales, S.L., Muller, L.D., Ford, S.A., O'Sullivan, M., Hoover, R.J., Holden, L.A., Lanyon, L.E. & Buckmaster, D.R. (1995). Stocking rate affects production & profitability in a rotationally grazed pasture system. *J. Prod. Agric.*, 8, 88-96.

Gallardo, M.R., Valtorta, S.E., Leva, P.E., Castro, H.C. & Maiztegui, J.A. (2001). Hydrogenated fish fat for grazing dairy cows in summer. *Int. J. Biometeorol.*, 45, 111-114.

Garnsworthy, P.C. (1990). Feeding calcium salts of fatty acids in high-starch or high-fibre compound supplements to lactating cows at grass. *Anim. Prod.*, 51, 441-447.

Gibb, M.J., Huckle, C.A. & Nuthall, R. (2002). Effects of level of concentrate supplementation on grazing behaviour & performance by lactating dairy cows grazing continuously stocked grass swards. *Anim. Sci.*, 74, 319-335.

Grainger, C. & Mathews, G.L. (1989). Positive relation between substitution rate & pasture allowance for cows receiving concentrates. *Aust. J. Exp. Agric.*, 29, 355-360.

Hoden, A., Peyroud, J.L., Muller, A., Delaby, L., Faverdin, P., Pecatte, J.R. & Fargetton, M. (1991). Simplified rotational

grazing management of dairy cows: effects of rates of stocking & concentrate. *J. Agric. Sci.*, 116, 417-428.

Hodgson, J. & Brookes, I.M. (1999). *Nutrition of grazing animals*. En White, J., & J. Hodgson, (eds), *Pasture & crop science*. Auckland, N.Z.: Oxford University Press.

Holden, L.A., Muller, L.D., Lykos, T. & Cassidy, T.W. (1995). Effect of corn silage supplementation on intake & milk production in cows grazing grass pasture. *Journal of Dairy Science*, 78, 154-160.

Hongerholt, D.D., & Muller, L.D. (1998). Supplementation of rumen-undegradable protein to the diets of early lactation Holstein cows grazing grass pasture. *Journal of Dairy Science*, 81, 2204-2214.

Kellaway, R. & Porta, S. (1993). *Feeding concentrates supplements for dairy cows*. Australia: Dairy Research & Development Corporation.

Kibon, A. & Holmes, W. (1987). The effect of height of pasture & concentrate composition on dairy cows grazed on continuously stocked pastures. *J. Agric. Sci.*, 109, 293-301.

King, K.R., Stockdale, C.R. & Trigg, T.E. (1990). Influence of high energy supplements containing fatty acids on the productivity of pasture-fed dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric.*, 30, 11-16.

Kolver, E.S. & Muller, L.D. (1998). Performance & nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, 81, 1403-1411.

Leaver, J.D. (1985). Milk production from grazed temperate grassland. *J. Dairy Res.*, 52, 313-344.

Mayne, C.S. & Wright, I.A. (1988). Herbage intake & utilization by the grazing dairy cow. En P.C. Garnsworthy, (ed), *Nutrition & lactation in the dairy cow*. London, Butterworths,

McCormick, M.E., French, D.D., Brown, T.F., Cuomo, G.J., Chapa, A.M., Fernandez, J.M. Beatty, J.F. & Blouin, D.C. (1999). Crude protein & rumen undegradable protein effects on reproduction & lactation performance of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 82, 2697-2708.

McCormick, M.E., Ward, J.D., Redfearn, D.D., French, D.D. Blouin, D.C., Chapa, A.M. & Fernandez, J.M. (2001a). Supplemental dietary protein for grazing dairy cows: effect on pasture intake & lactation performance. *Journal of Dairy Science*, 84, 896-907.

McCormick, M.E., Redfearn, D.D. Ward, J.D. & Blouin, D.C. (2001b). Effect of protein source & soluble carbohydrate addition on rumen fermentation & lactation performance of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 84, 1686-1697.

McGilloway, D.A. & Mayne, C.S. (1996). *The importance of grass availability for the high genetic merit dairy cow*. En P.C. Garnsworthy, J. Wiseman, & W. Haresign (eds.), *Recent advances in animal nutrition*. UK, Nottingham University Press.

Meijs, J.A.C. (1986). Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 2. Effect of concentrate composition on herbage intake & milk production. *Grass Forage Sci.*, 41, 229-235.

- Meijs, J.A.C. & Hoekstra, J.A. (1984). Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 1. Effect of concentrate intake & herbage allowance on herbage intake. *Grass Forage Sci.*, 39, 59-66.
- Murphy, J.J., Connolly, J.F. & McNeill, G.P. (1995). Effects on cow performance & milk fat composition of feeding full fat soyabeans & rapeseeds to dairy cows at pasture. *Livest. Prod. Sci.*, 44, 13-25.
- NRC - National Research Council. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. (7 ed). Washington: National Academy Press.
- Peyraud, J.L. & Delaby, L. (2001). Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows responses to supplementation in interaction with grazing management & grass quality. En P. C. Garnsworthy & J. Wiseman (eds), *Recent advances in animal nutrition*. Nottingham University Press.
- Peyraud, J.L., Comerón, E.A., Wade, M.H. & Lemaire, G. (1996). The effect of daily herbage allowance, herbage mass & animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. *Ann. Zootech.*, 45, 201-217.
- Phillips, C.J.C. (1988). The use of conserved forage as supplement for grazing dairy cows. *Grass Forage Sci.*, 43, 215-230.
- Pieroni, G.A., Bargo, F. & Rearte, D.H. (1999). Dry-ground or steam flaked sorghum supplementation to lactating dairy cows grazing pasture. *Journal of Dairy Science*, 82, (Suppl. 1), 44.
- Poppi, D.P., Hughes, T.P. & L'Huillier, P.J. (1987). Intake of pasture by grazing ruminants. En *Livestock feeding on pasture*. NZ Soc. Anim. Prod. Occ., Ruakura Agric. Center, Hamilton, N.Z.
- Rearte, D.H., Kesler, E.M. & Hargrove, G.L. (1986a). Forage growth & performance of grazing dairy cows supplemented with concentrate & chopped or long hay. *Journal of Dairy Science*, 69, 1048-1054.
- Rearte, D.H., Kesler, E.M. & Hargrove, G.L. (1986b). Response by dairy cows to hay supplement with early spring grazing or to delay in turning to pasture. *Journal of Dairy Science*, 69, 1366-1373.
- Reis, R.B. & Combs, D.K. (2000a). Effects of corn processing & supplemental hay on rumen environment & lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *Journal of Dairy Science*, 83, 2529-2538.
- Reis, R.B. & Combs, D.K. (2000b). Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment & lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *Journal of Dairy Science*, 83, 2888-2898.
- Reis, R.B., San Emeterio, F., Combs, D.K., Satter, L.D. & Costa, H.N. (2001). Effects of corn particle size & source on performance of lactating cows fed direct-cut grass-legume forage. *Journal of Dairy Science*, 84, 429-441.
- Robaina, A.C., Grainger, C., Moate, P., Taylor, J. & Stewart, J. (1998). Responses to grain feeding by grazing dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric.*, 38, 541-549.
- Rook, A.J. (2000). Principles of foraging & grazing behaviour. En A. Hopkins, *Grass: its production & utilization*. Blackwell Science.
- Rook, A.J., Huckle, C.A. & Penning, P.D. (1994). Effects of sward height & concentrate supplementation on the ingestive behaviour of spring-calving dairy cows grazing grass-clover swards. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 40, 101-112.
- Santos, F.A.P., Santos, J.E.P., Theurer, C.B. & Huber, J.T. (1998). Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: a 12-year literature review. *Journal of Dairy Science*, 81, 3182-3213.
- Sayers. (1999). *The effect of sward characteristics & level & type of supplement on grazing behaviour, herbage intake & performance of lactating dairy cows*. (Thesis). Queen's University of Belfast, Hillsborough: The Agricultural Research Institute of Northern Ireland.
- Schor, A. & Gagliostro, G.A. (2001). Undegradable protein supplementation to early-lactation dairy cows in grazing conditions. *Journal of Dairy Science*, 84, 1597-1606.
- Schwarz, F.J., Haffner, J. & Kirchgessner, M. (1995). Supplementation of zero-grazed dairy cows with molassed sugar beet pulp, maize or a cereal-rich concentrate. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 54, 247-258.
- Schroeder, G.F. & Gagliostro, G.A. (2000). Fishmeal supplementation to grazing dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 83, 2899-2906.
- Schroeder, G.F., Gagliostro, G.A., Becu-Villalobos, D. & Lacau-Mengido, I. (2002). Supplementation with partially hydrogenated oil in grazing dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 85, 580-594.

- Soriano, F.D., Polan, C.E. & Miller, C.N. (2000). Milk production & composition, rumen fermentation parameters, & grazing behavior of dairy cows supplemented with different forms & amounts of corn grain. *Journal of Dairy Science*, 83, 1520-1529.
- Spörndly, E. (1991). Supplementation of dairy cows offered freshly cut herbage ad libitum with starchy concentrates based on barley or fibrous concentrates based on unmolassed sugar beet pulp & wheat bran. *Swedish J. Agric. Res.*, 21, 131-139.
- St-Pierre, N.R. (2001). Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science*, 84, 741-755.
- Stakelum, G. (1986a). Herbage intake of grazing dairy cows. 1. Effect of autumn supplementation with concentrates & herbage allowance on herbage intake. *Irish J. Agric. Res.*, 25, 31-40.
- Stakelum, G. (1986b). Herbage intake of grazing dairy cows. 3. Effect of herbage mass, herbage allowance & concentrate feeding on the herbage intake of dairy cows grazing on mid-summer pasture. *Irish J. Agric. Res.*, 25, 179-189.
- Stockdale, C.R. (1985). Influence of some sward characteristics on the consumption of irrigated pastures grazed by lactating dairy cows. *Grass Forage Sci.*, 40, 31-39.
- Stockdale, C.R. (1994). Persian clover & maize silage. I. Silage as a supplement for lactating dairy cows offered herbage of different quality. *Aust. J. Agric. Res.*, 45, 1751-1765.
- Stockdale, C.R. (1999a). The nutritive characteristics of herbage consumed by grazing dairy cows affect milk yield responses obtained from concentrate supplementation. *Aust. J. Exp. Agric.*, 39, 379-387.
- Stockdale, C.R. (1999b). Effects of cereal grain, lupins-cereal grain or hay supplements on the intake & performance of grazing dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric.*, 39, 811-817.
- Stockdale, C.R. (2000a). Differences in body condition & body size affect the responses of grazing dairy cows to highenergy supplements in early lactation. *Aust. J. Exp. Agric.*, 40, 903-911.
- Stockdale, C.R. (2000b). Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Aust. J. Exp. Agric.*, 40, 913-921.
- Stockdale, C.R. & Trigg, T.E. (1985). Effects of pasture allowance & level of concentrate feeding on the productivity of dairy cows in late lactation. *Aust. J. Exp. Agric.*, 25, 739-744.
- Tesfa, A.T., Virkajarvi, P., Tuoril, M. & Syrjala-Qvist, L. (1995). Effects of supplementary concentrate composition on milk yield, milk composition & pasture utilization of rotationally grazed dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 56, 143-154.
- Theurer, C.B., Huber, J.T., Delgado-Elorduy, A. & Wanderley, R. (1999). Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82, 1950-1959.
- Valentine, S.C., Clayton, E.H., Hudson, G.J. & Rowe, J.B. (2000). Effect of virginiamycin & sodium bicarbonate on milk production, milk composition & metabolism of dairy cows fed high levels of concentrates. *Aust. J. Exp. Agric.*, 40, 773-781.
- Valk, H. (1994). Effects of partial replacement of herbage by maize silage on N-utilization & milk production of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 241-250.
- Valk, H., Klein Poelhuis, H.W. & Wentink, H.J. (1990). Effect of fibrous & starchy carbohydrates in concentrates as supplements in herbage-based diet for high yielding dairy cows. *Neth. J. Agric. Sci.*, 38, 475-486.
- Vazquez, O.P. & Smith, T.R. (2000). Factors affecting pasture intake & total dry matter intake in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83, 2301-2309.
- Wales, W.J., Williams, Y.J. & Doyle, P.T. (2001). Effect of grain supplementation & the provision of chemical or physical fibre on marginal milk production responses of cows grazing perennial ryegrass pastures. *Aust. J. Exp. Agric.*, 41, 465-471.
- Walker, G.P., Stockdale, C.R., Wales, W.J., Doyle, P.T. & Dellow, D.W. (2001). Effect of level of grain supplementation on milk production responses of dairy cows in mid-late lactation when grazing irrigated pastures high in paspalum (*Paspalum dilatatum Poir.*). *Aust. J. Exp. Agric.* 41:1-11.
- Wilkins, R.J., Gibbs, M.J., Huckle, C.A. & Clements, A.J. (1994). Effect of supplementation on production by springcalving dairy cows grazing swards of differing clover content. *Grass Forage Sci.*, 49, 465-475.
- Wu, Z.L., Massingill, J., Walgenbach, R.P. & Satter, L.D. (2001). Cracked dry or finely ground high moisture shelled corn as a supplement for grazing cows. *Journal of Dairy Science*, 84, 2227-2230. ■