

SUPLEMENTACIÓN EN PASTOREO: CONCLUSIONES SOBRE LAS ÚLTIMAS EXPERIENCIAS EN EL MUNDO

Fernando Bargo, PhD

INTRODUCCION

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 and Kanneganti, 1998; Peyraud and 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 and 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% MS, 18 a 25% PB, 40 a 50% FDN, y 1.53 to 1.67 Mcal/kg MS de EN_L (Clark and Kanneganti, 1998).

El objetivo principal de la suplementación a vacas lecheras en pastoreo es aumentar el consumo total de MS y el consumo de energía en comparación con aquellos obtenidos con solo pastura (Peyraud and 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 and Porta, 1993; Fales et al., 1995). Entre los objetivos específicos de la suplementación se pueden incluir (Kellaway and Porta, 1993): 1) aumentar la producción de leche por vaca, 2) aumentar 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) aumentar el largo de la lactancia en épocas de limitaciones de pastura, y 6) aumentar 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 et al., 1996; Kellaway and 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 MS 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 kg/d de leche en lactancia tempran y alrededor de 20 kg/d en lactancia tardia. Esta revisión se focaliza en la investigación realizada en los Estados Unidos, pero información de otros países que usan sistemas pastoriles fue tambien incluida (ej. Argentina, Australia, Francia, Irlanda, Nueva Zelanda, y Reino Unido).

CONSUMO DE MATERIA SECA EN VACAS EN PASTOREO

El bajo consumo de MS ha sido identificado como el principal limitante en la producción de leche de vacas de alta producción en sistemas pastoriles (Kolver and Muller, 1998; Leaver, 1985; McGilloway and Mayne, 1996). Leaver (1985) sugirió que vacas de alta producción en dietas de solo pastura pueden llegar a presentar un consumo total de MS de 3.25% del peso vivo. Mayne and Wright (1988) estimó que sin restricciones de cantidad y calidad de pastura, el consumo de MS 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 et al., 2002a; Kolver and Muller, 1998; Reis and Combs, 2000b). Kolver and Muller (1998) reportó que vacas en lactancia temprana pastoreando una pastura de alta calidad en la primavera tuvieron un consumo de MS de 19.0 kg 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 kg menos de MS. Los consumos de MS y EN_L fueron menores en las vacas en pastoreo, sin embargo los consumos de PB y FDN no difirieron entre las vacas en pastoreo y las vacas en TMR. La diferencia en consumo de MS, más que la diferencia en el contenido de energía de la pastura por kg de MS, pareció ser el principal factor responsable del menor consumo de energía y producción de leche (Kolver and Muller, 1998). El consumo de MS de vacas lecheras no suplementadas aumentó de 17.7 kg/d o 2.9% del peso vivo a 20.5 kg/d o 3.4% del peso vivo cuando la disponibilidad de pastura aumentó de 25 a 40 kg MS/vaca/d (Bargo et al., 2002a).

Efecto de la disponibilidad de pastura

Diversos factores de la pastura afectan el consumo de MS (Hodgson and Brookes, 1999; Poppi et al., 1987) incluyendo la cantidad de pastura previa al pastoreo (kg MS/ha) y la disponibilidad de pastura (cantidad de pastura ofrecida por vaca; kg MS/vaca/d). Diversos investigadores (Dalley et al., 1999; Stockdale, 1985) han reportado que el consumo de MS de pastura esta cercanamente relacionado con la disponibilidad de pastura. La relación entre el consumo de MS de pastura y la disponibilidad de pastura ha sido descrita como asintótica (Dalley et al., 1999; Peyraud et al., 1996; Poppi et al., 1987). Sin embargo, no se conoce con precisión que disponibilidad de pastura es requerida para maximizar el consumo de MS. En la revisión de Leaver (1985) se propuso que el máximo consumo de MS se obtiene con una disponibilidad de pastura entre 45 to 55 g MS/kg peso vivo o 27 a 33 kg MS/vaca/d para una vaca de 600 kg.

Resumiendo 7 trabajos (Bargo et al., 2002a; Dalley et al., 1999; 2001; Delaby et al., 2001; Peyraud et al., 1996; Stockdale, 2000a; Wales et al., 2001), para un rango de disponibilidad de pastura de 20 a 70 kg MS/vaca/d, el consumo de MS de pastura aumentó en promedio 0.19 kg/kg de incremento en disponibilidad de pastura (ranga: 0.17 to 0.24 kg/kg). Los datos de esos 7 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 MS de pastura (CMSP) resultó en un modelo que incluyó disponibilidad de pastura (DP) y su término cuadrático: $CMSP = 7.79 + 0.26 DP - 0.0012 DP^2$; $R^2 = 0.95$. Basándonos en esta ecuación, la disponibilidad de pastura optima para maximizar el consumo de MS de pastura (21.87 kg/d) es 110 kg MS/vaca/d, y el consumo de MS de pastura aumenta 0.26 kg por kg de aumento con disponibilidad de pastura menores a 110 kg MS/vaca/d.

Ecuaciones para estimar el consumo de MS en vacas en pastoreo

Debido a que la estimación del consumo de MS en vacas en pastoreo demanda el uso de técnicas caras y complejas, se han desarrollado ecuaciones basadas en características del animal y la pastura para predecir el consumo de MS (Caird and Holmes, 1986; Vazquez and Smith, 2000). Caird and Holmes (1986) usaron datos de 9 experimentos y variables como consumo de MO (TOMI, kg/d), consumo de MO de pastura, consumo de MS de concentrado (CDMI, kg/d), peso vivo (BW, kg), producción de leche (MY, kg/d), digestibilidad de la MO del forraje, semana de lactancia, cantidad de pastura (HM, ton

MO/ha), disponibilidad de pastura (HAL, kg MO/vaca/d), y altura de pastura (SHT, cm). Para vacas en pastoreo rotativo, la mejor ecuación ($R^2 = 0.68$) fue: $TOMI = 0.323 + 0.177MY + 0.010BW + 1.636C - 1.008HM + 0.540HAL - 0.006HAL^2 - 0.048HAL \times C$.

Vazquez and Smith (2000) usaron datos de 27 estudios en pastoreo con vacas lecheras para obtener ecuaciones de regresión para predecir el consumo de MS 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), FDN en la pastura ofrecida (NDFp, % MS), FDN en la pastura consumida (NDFs, % MS), porcentaje de leguminosas en la pastura (LEG, %), cantidad de concentrado suplementado (kg DM), cantidad de forraje suplementado (kg DM), suplementación total (SUP, kg DM), la interacción entre disponibilidad de pastura y suplementación total (PASUP), peso vivo (BW, kg), y cambio de peso vivo (CBW, kg/d). La mejor ecuación ($R^2 = 0.95$) para estimar consumo total de MS (TDMI) fue: $TDMI = 4.47 + 0.14FCM + 0.024BW + 2.00CBW + 0.04PA + 0.022PASUP + 0.10SUP - 0.13NDFp - 0.037LEG$. La mejor ecuación para estimar consumo de MS de pastura (PDMI) ($R^2 = 0.91$) fue: $PDMI = 4.47 + 0.14FCM + 0.024BW + 2.00CBW + 0.04PA + 0.022PASUP - 0.90SUP - 0.13NDFp - 0.037LEG$.

Las ecuaciones desarrolladas por Caird and Holmes (1986) y Vazquez and 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 MS (DMI) está basada únicamente en variables del animal como leche corregida por grasa (FCM, kg/d), peso vivo (BW, kg), y semana de lactancia (WOL): $DMI = (0.372 \times FCM + 0.0968 \times BW^{0.75}) \times (1 - e^{(-0.192 \times (WOL + 3.67))})$. Se usó un grupo de 56 datos de Bargo et al. (2002b), quien midió el consumo de MS en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con 8.7 kg/d usando oxido crómico. La información sobre las vacas, la pastura, y el suplemento reportados en ese estudio (Bargo et al., 2002b) fueron usadas para estimar consumo de MS usando las ecuaciones de Caird and Holmes (1986), Vazquez and Smith (2000), y NRC (2001). El consumo de MS estimado por la ecuación de NRC (2001) (21.9 kg/d) o Caird and Holmes (1986) (21.2 kg/d) no difirieron del consumo de MS medido usando oxido crómico (21.6 kg/d) ($P > 0.05$), pero la estimación de consumo de MS por la ecuación de Vazquez and Smith (2000) (24.4 kg/d) fue mayor que el consumo de MS medido ($P < 0.05$). Esto indica que la estimación de consumo de MS usando las ecuaciones de Caird and Holmes (1986) y 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 MS 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 and Brookes, 1999; Rook, 2000). Resumiendo 7 trabajos (Arriaga-Jordan and Holmes, 1986; Bargo et al., 2002a; Delagarde et al., 1997; Gibb et al. 2002; Kibon and Holmes, 1987; Rook et al., 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 34 min/d 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 un relacion negativa entre tiempo de pastoreo (TP, min/d) y consumo de MS de concentrado (CMSC, kg/d): $TP = 578 - 12 \text{ CMSC}$ ($R^2 = 0.88$). En promedio, el tiempo de pastoreo de vacas no suplementadas es 578 min/d y el tiempo de pastoreo es reducido 12 min/d por cada kilo de concentrado.

TASA DE SUSTITUCIÓN Y RESPUESTA A LA SUPLEMENTACIÓN

Cuando las vacas en pastoreo reciben suplementos, el consumo de MS de pastura generalmente disminuye, lo cual es conocido como tasa de sustitución (TS; Kellaway and Porta, 1993). La tasa de sustitución es calculada como: $TS \text{ (kg/kg)} = (\text{consumo de MS de pastura en vacas no suplementadas} - \text{consumo de MS en vacas suplementadas}) / \text{consumo de MS de suplemento}$. Una tasa de sustitución < 1 kg/kg significa que el consumo total de MS en las vacas suplementadas es mayor que el consumo total de MS en las vacas no suplementadas. Una tasa de sustitución = 1 kg/kg significa que el consumo total de MS 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 and Porta, 1993; Stockdale, 2000a).

Disponibilidad de pastura

Diversos estudios han reportado que la TS aumenta a medida que la disponibilidad de pastura aumenta (Bargo et al., 2002a; Grainger and Mathews, 1989; Meijs and Hoekstra, 1984; Robaina et al., 1998; Stakelum, 1986a; 1986b; Stockdale and Trigg, 1985). Al dividir esos estudios en baja disponibilidad de pastura (< 25 kg MS/vaca/d; rango: 7.6 to 25 kg DM/cow/d) o alta disponibilidad de pastura (> 25 kg MS/vaca/d; rango: 25 to 42.3 kg DM/cow/d), la tasa de sustitución promedió 0.20 kg pastura/kg concentrado (rango: 0 a 0.31 kg pastura/kg concentrado) a baja disponibilidad de pastura, y 0.62 kg pastura/kg concentrado (rango: 0.55 a 0.69 kg pastura/kg concentrado) a alta disponibilidad de pastura. Estudios en pastoreo evaluando 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 aumentó. 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): $RL = 1.71 - 2.01 \times TS$ ($R^2 = 0.43$), indicando que a menor tasa de sustitución, mayor respuesta en leche.

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 and Porta, 1993). La respuesta marginal disminuyó arriba de 3 a 4 kg/d 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 and 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 kg/d de leche al inicio del experimento independientemente del estado de la lactancia o con menos de 90 días en lactancia (Bargo et al., 2002a; Delaby et al., 2001; Gibb et al., 2002; Reis and Combs, 2000b; Sayers, 1999), y 2) aquellos con vacas produciendo menos de 23 kg/d de leche al inicio del experimento y más de 160 días en lactancia (Robaina et al., 1998; Sayers, 1999; Walker et al., 2001).

Combinando 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 MS de concentrado (CMSC, kg/d) fue: $PL = 22.20 + 1.03 \text{ CMSC}$ ($R^2 = 0.95$), indicando una respuesta en producción de leche promedio de 1 kg leche/kg concentrado (Figura 2). Combinando los 3 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 MS de concentrado (CMSC, kg/d): $MY = 12.92 + 1.23 \text{ CDMI} - 0.04 \text{ CDMI}^2$ ($R^2 = 0.94$), indicando una reducción en la respuesta marginal a medida que el consumo de MS 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 merito 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 MS de concentrado aumenta hasta 10 kg/d con una respuesta promedio de 1 kg leche/kg de concentrado. La producción de leche de vacas de alta producción en lactancia tardía, sin embargo, aumenta a medida que la cantidad de concentrado aumenta 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 más de 10 kg/d (o > 50% del consumo de MS 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 and Stockdale, 1999) o por reducciones en el tiempo de pastoreo (McGilloway and 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 and 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. Sin embargo, interacciones entre la digestión de concentrados y pastura pueden reducir la digestión de la fibra (Dixon and 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 reducir el consumo de MS de la pastura (Dixon and Stockdale, 1999). La segunda hipótesis propuesta

para explicar la tasa de sustitución esta 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 and Wright, 1988; McGilloway and Mayne, 1996).

Bargo et al. (2002a) estudiaron la digestión ruminal y el tiempo de pastoreo de vacas de alta producción pastoreando a baja o alta disponibilidad de pastura para testear 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 kg/d 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., 2002a). El tiempo de pastoreo fue reducido 75 min/d con la suplementación a baja disponibilidad de pastura y explicó los 2.0 kg/d de reducción en el consumo de MS de pastura encontrados al medir consumo de MS de pastura usando óxido cromo (75 min/d x 55 bites/min x 0.55 g DM/bite = 2.3 kg/d). A alta disponibilidad de pastura, la suplementación con concentrado redujo el tiempo de pastoreo 104 min/d y explicó 80% de los 4.4 kg/d de reducción en consumo de MS de pastura medidos (104 min/d x 56 bites/min x 0.60 g DM/bite = 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 FDN con la suplementación fue mayor a alta que a baja disponibilidad de pastura (4.3 vs. 1.1 unidades porcentuales, respectivamente; Bargo et al., 2002a).

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA Y LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE

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 MS, y la producción y composición de la leche (Arriaga-Jordan and Holmes, 1986; Bargo et al., 2002a; Dillon et al., 1997; Hoden et al., 1991; Reis and Combs, 2000b; Robaina et al., 1998; Sayers, 1999; Spörndly,

1991; Valentine et al., 2000; Walker et al., 2001; Wilkins et al., 1994). Para el rango de cantidad de concentrado suplementado en esos estudios (1.8 a 10.4 kg MS/vaca/d), el consumo de MS de pastura disminuyó 1.9 kg/d (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 MS total aumentó 3.6 kg/d (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 MS total de dietas solo pastura.

Los estudios resumidos reportaron que la producción de leche aumentó en promedio 4.4 kg/d (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 et al., 2002; Schwarz et al., 1995; Valk et al., 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 soja (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 MS de pastura 0.13 kg/d, 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 et al., 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 MS y la producción y composición de la leche (Alvarez et al., 2001; Bargo et al., 1998; Delahoy et al., 2002; Pieroni et al., 1999; Reis and Combs, 2000a; Reis et al., 2001; Soriano et al., 2000; Wu et al., 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 g/L (Bargo et al., 1998) o 360 g/L (Delahoy et al., 2002), maíz rolo con una densidad de 591 g/L (Reis and Combs, 2000a), y copos de sorgo con una densidad de 480 g/L (Pieroni et al., 1999).

Cuatro de los cinco estudios no reportaron diferencias en consumo de MS 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 and 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 and 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.

Suplementación con proteína no degradable en rumen (PNDR)

El uso de fuentes de PNDR en vacas lecheras ha sido extensamente revisado por Santos et al. (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% PB donde fuentes de proteína degradable en rumen como harina de soja (Hongerholt and Muller, 1998; McCormick et al., 1999; 2001a; 2001b; Schor and Gagliostro, 2001), harina de girasol (Bargo et al., 2001; Schroeder and Gagliostro, 2000), y urea o harina de colza (Tesfa et al., 1995) fueron reemplazadas por fuentes de PNDR como mezcla de proteínas animales (Hongerholt and Muller, 1998), corn gluten meal (McCormick et al., 1999; 2001a), expeller de soja (McCormick et al., 2001b), harina de sangre (McCormick et al., 2001a; Schor and Gagliostro, 2001), harina de pluma (Bargo et al., 2001), harina de colza tratada con calor (Tesfa et al., 1995), y harina de pescado (Schroeder and Gagliostro, 2000).

El consumo de MS de pastura no fue afectado por el uso de PNDR en el concentrado en cinco de los siete estudios (Bargo et al., 2001; Hongerholt and Muller, 1998; McCormick et al., 1999; 2001a; Tesfa et al., 1995). Schor and Gagliostro (2001), en cambio, encontraron que el reemplazo de proteína degradable en rumen por PNDR resultó en un mayor consumo de MS en vacas pastoreando raigrás perenne y trébol rojo. De los ocho estudios, solo dos (Schor and Gagliostro, 2001; Schroeder and Gagliostro, 2000) reportaron un incremento en producción de leche con la suplementación con PNDR. La respuesta en leche tuvo un rango de 6% (Schroeder and Gagliostro, 2000) a 18% (Schor and 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 pastore es función del consumo de MS de pastura y su contenido de PNDR, y del consumo de MS 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% PB y 19.3% PNDR (% PB) resultó en 472 g/d de PNDR total (Bargo et al., 2001), mientras que una pastura de pasto ovido con 24.8% PB y 39.1% PNDR (% PB) resultó en 1096 g/d de PNDR total (Hongerholt and Muller, 1998). El consumo total de PNDR fue aumentado de 893 a 1153 g/d (Bargo et al., 2001), de 1077 a 1234 g/d (Hongerholt and Muller, 1998), de 1316 a 1680 g/d (McCormick et al., 1999), de 1109 a 1593 (McCormick et al., 2001a), de 1710 a 1869 g/d (McCormick et al., 2001b), y de 1011 a 1647 g/d (Schor and Gagliostro, 2000).

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 et al., 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 MS 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 kg MS/d de silo de maíz redujo el consumo de MS de pastura y resultó en un consumo de MS 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 MS total. Sin embargo, Stockdale (1994) reportó un mayor porcentaje de proteína cuando la suplementación con 6.5 kg MS/d de silo de maíz aumento el consumo de MS 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 con en lactancia temprana y suplementadas también con altos (> 8 kg DM/d; Reis and Combs, 2000; Rearte et al., 1986a; 1986b) o bajos (< 8 kg DM/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 and 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 kg/d (Stockdale, 1999b).

Diferentes formas y cantidades de heno redujeron el consumo de MS de pastura en un promedio de 3.5 kg/d (rango: 0.8 a 5.6 kg/d). El efecto de la suplementación con heno sobre el consumo de MS total dependió de la tasa de sustitución. Tres estudios con vacas lecheras en lactancia temprana (Rearte et al., 1986b; Reis and 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 and 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. Ningun estudio (Rearte et al., 1986a; 1986b; Reis and 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% FDN y 19% de ese FDN proveniente del forraje para 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 FDN 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 FDN en vacas en pastoreo.

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 et al., 2001; Garnsworthy, 1990), mientras que en otros estudios las grasas fueron agregadas a una cantidad base de concentrado (Agenäs et al., 2002; King et al., 1990; Schroeder et al., 2002). Fuentes de grasas

usadas incluyeron grasas inertes en el rumen como grasa hidrogenada de pescado (Gallardo et al., 2001), sales de Ca 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 et al., 1995) o aceite de soja (Agenäs et al., 2002). La cantidad de grasa suplementada varió de 200 (Gallardo et al., 2001) a 1000 g/d (Schroeder et al., 2002).

En promedio, la suplementación con grasas no afectó el consumo de MS 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 kg/d (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 0.149 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 kg/d.

CONCLUSIONES

El consumo de MS total de vacas lecheras en dietas de solo pastura es menor que el consumo de MS 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 MS 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 (resultando en un pequeño incremento en el consumo de MS total), la respuesta en leche es baja. En comparación con dietas solo pastura, al aumentar la cantidad de concentrado suplementado aumentó el consumo de MS 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 MS 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 leche. La suplementación con forrajes no afectó 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.

REFERENCES

- Agenäs, S., K. Holtenious, M. Griinari, and E. Burstedt. 2002. Effects of turnout to pasture and dietary fat supplementation on milk fat composition and conjugated linoleic acid in dairy cows. *Acta. Agric. Scand., Sect. A, Anim. Sci.* 52:25-33.
- Alvarez, H. J., F. J. Santini, D. H. Rearte, and J. C. Elizalde. 2001. Milk production and ruminal digestion in lactating dairy cows grazing temperate pastures and supplemented with dry cracked corn or high moisture corn. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91:183-195.
- Arriaga-Jordan, C. M., and W. Holmes. 1986. The effect of concentrate supplementation on high yielding dairy cows under two systems of grazing. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 107:453-461
- Bargo, F., G. A. Pieroni, and D.H. Rearte. 1998. Milk production and ruminal fermentation of grazing dairy cows supplemented with dry-ground corn or steam-flaked corn. *J. Dairy Sci.*81(Suppl. 1): 250.
- Bargo, F., D. H. Rearte, F. J. Santini, and L. D. Muller. 2001. Ruminal digestion by dairy cows grazing winter oats pasture supplemented with different levels and sources of protein. *J. Dairy Sci.* 84:2260-2272.
- Bargo, F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002a. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85:1777-1792.
- Bargo, F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2000b. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture or total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 85(In press).
- Caird, L., and W. Holmes. 1986. The prediction of voluntary intake of grazing dairy cows. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 107:43-54.
- Clark, D. A., and V. R. Kanneganti. 1998. Grazing management systems for dairy cattle. Page 331 *in* Grass for Dairy Cattle. Cherney, J. H., and D. J. R. Cherney, eds. CAB International.
- Dalley, D. E., J. R. Roche, C. Grainger, and P. J. Moate. 1999. Dry matter intake, nutrient selection and 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., J. R. Roche, P. J. Moate, and C. Grainger. 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., J. L. Peyraud, and R. Delagarde. 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. *Anim. Sci.* 73:171-181.
- Delagarde, R., J. L. Peyraud and L. Delaby. 1997. The effect of nitrogen fertilization level and protein supplementantion on herbage intake, feeding behaviour and digestion in grazing dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 66:165-180.
- Delahoy, J. E., F. Bargo, L. D. Muller, and L. A. Holden. 2002. Supplemental carbohydrates sources for lactating dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 85(In press).
- Dillon, P., S. Crosse, and B. O'Brien. 1997. Effect of concentrate supplementation of grazing dairy cows in early lactation on milk production and milk processing quality. *Ir. J. Agric. Food Res.* 36:145-159.
- Dixon, R. M., and C. R. Stockdale. 1999. Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilization. *Aust. J. Agric. Res.* 50:757-773.
- Doyle, P. T., C. R. Stockdale, and A. R. Lawson. 1996. Pastures for dairy production in Victoria. Agriculture Victoria, Australia.
- Fales, S. L., L. D. Muller, S. A. Ford, M. O'Sullivan, R. J. Hoover, L. A. Holden, L. E. Lanyon, and D. R. Buckmaster. 1995. Stocking rate affects production and profitability in a rotationally grazed pasture system. *J. Prod. Agric.* 8:88-96.
- Gallardo, M. R., S. E. Valtorta, P. E. Leva, H. C. Castro, and J. A. Maiztegui. 2001. Hydrogenated fish fat for grazing dairy cows in summer. *Int. J. Biometeorol.* 45:111-114.
- García, S. C., F. J. Santini, and J. C. Elizalde. 2000. Sites of digestion and bacterial protein synthesis in dairy heifers fed fresh oats with or without corn or barley grain. *J. Dairy Sci.* 83:746-755.

- 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., C. A. Huckle, and R. Nuthall. 2002. Effects of level of concentrate supplementation on grazing behaviour and performance by lactating dairy cows grazing continuously stocked grass swards. *Anim. Sci.* 74:319-335.
- Grainger, C., and G. L. Mathews. 1989. Positive relation between substitution rate and pasture allowance for cows receiving concentrates. *Aust. J. Exp. Agric.* 29:355-360.
- Hoden, A., J. L. Peyroud, A. Muller, L. Delaby, P. Faverdin, J. R. Pecatte, and M. Fargetton. 1991. Simplified rotational grazing management of dairy cows: effects of rates of stocking and concentrate. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 116:417-428.
- Hodgson, J. and I. M. Brookes. 1999. Nutrition of grazing animals. Page 117 *in* Pasture and Crop Science. White, J., and J. Hodgson, eds. Oxford University Press, Auckland, N.Z.
- Holden, L. A., L. D. Muller, T. Lykos, and T. W. Cassidy. 1995. Effect of corn silage supplementation on intake and milk production in cows grazing grass pasture. *J. Dairy Sci.* 78:154-160.
- Hongerholt, D. D., and L. D. Muller. 1998. Supplementation of rumen-undegradable protein to the diets of early lactation Holstein cows grazing grass pasture. *J. Dairy Sci.* 81:2204-2214.
- Kellaway, R., and S. Porta. 1993. Feeding concentrates supplements for dairy cows. Dairy Research and Development Corporation. Australia.
- Kibon, A. and W. Holmes. 1987. The effect of height of pasture and concentrate composition on dairy cows grazed on continuously stocked pastures. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 109:293-301.
- King, K. R., C. R. Stockdale, and T. E. Trigg. 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., and L. D. Muller. 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 81:1403-1411.
- Leaver, J. D. 1985. Milk production from grazed temperate grassland. *J. Dairy Res.* 52:313-344.
- Mayne, C. S., and I. A. Wright. 1988. Herbage intake and utilization by the grazing dairy cow. Page 280 *in* Nutrition and Lactation in the Dairy Cow. P. C. Garnsworthy, ed. Butterworths, London.
- McCormick, M. E., D. D. French, T. F. Brown, G. J. Cuomo, A. M. Chapa, J. M. Fernandez, J. F. Beatty, and D. C. Blouin. 1999. Crude protein and rumen undegradable protein effects on reproduction and lactation performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 82:2697-2708.
- McCormick, M. E., J. D. Ward, D. D. Redfearn, D. D. French, D. C. Blouin, A. M. Chapa, and J. M. Fernandez. 2001a. Supplemental dietary protein for grazing dairy cows: effect on pasture intake and lactation performance. *J. Dairy Sci.* 84:896-907.
- McCormick, M. E., D. D. Redfearn, J. D. Ward, and D. C. Blouin. 2001b. Effect of protein source and soluble carbohydrate addition on rumen fermentation and lactation performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 84:1686-1697.
- McGilloway, D. A., and C. S. Mayne. 1996. The importance of grass availability for the high genetic merit dairy cow. Page 135 *in* Recent Advances in Animal Nutrition. P. C. Garnsworthy, J. Wiseman, and W. Haresign, eds. Nottingham University Press. UK
- Meijs, J. A. C. 1986. Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 2. Effect of concentrate composition on herbage intake and milk production. *Grass Forage Sci.* 41:229-235.
- Meijs, J. A. C., and J. A. Hoekstra. 1984. Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 1. Effect of concentrate intake and herbage allowance on herbage intake. *Grass Forage Sci.* 39:59-66.
- Murphy, J. J., J. F. Connolly, and G. P. McNeill. 1995. Effects on cow performance and milk fat composition of feeding full fat soyabeans and rapeseeds to dairy cows at pasture. *Livest. Prod. Sci.* 44:13-25.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition, 2001. National Academy Press, Washington, D.C.
- Peyraud, J. L., and L. Delaby. 2001. Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows responses to supplementation in interaction with grazing management and grass quality. Page 203 *in* Recent Advances in Animal Nutrition. Garnsworthy, P. C., and J. Wiseman, eds. Nottingham University Press.

- Peyraud, J. L., E. A. Comerón, M. H. Wade and G. Lemaire. 1996. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and 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., F. Bargo, and D.H. Rearte. 1999. Dry-ground or steam flaked sorghum supplementation to lactating dairy cows grazing pasture. *J. Dairy Sci.* 82(Suppl. 1):44.
- Poppi, D. P., T. P. Hughes, and P. J. L'Huilier. 1987. Intake of pasture by grazing ruminants. Page 55 *in* *Livestock Feeding on Pasture*. NZ Soc. Anim. Prod. Occ. Pub. No. 10. Ruakura Agric. Center, Hamilton, N.Z.
- Rearte, D. H., E. M. Kesler, and G. L. Hargrove. 1986a. Forage growth and performance of grazing dairy cows supplemented with concentrate and chopped or long hay. *J. Dairy Sci.* 69:1048-1054.
- Rearte, D. H., E. M. Kesler, and G. L. Hargrove. 1986b. Response by dairy cows to hay supplement with early spring grazing or to delay in turning to pasture. *J. Dairy Sci.* 69:1366-1373.
- Reis, R. B., and D. K. Combs. 2000a. Effects of corn processing and supplemental hay on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J. Dairy Sci.* 83:2529-2538.
- Reis, R. B., and D. K. Combs. 2000b. Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J. Dairy Sci.* 83:2888-2898.
- Reis, R. B., F. San Emeterio, D. K. Combs, L. D. Satter, and H. N. Costa. 2001. Effects of corn particle size and source on performance of lactating cows fed direct-cut grass-legume forage. *J. Dairy Sci.* 84:429-441.
- Robaina, A. C., C. Grainger, P. Moate, J. Taylor, and J. Stewart. 1998. Responses to grain feeding by grazing dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric.* 38:541-549.
- Rook, A. J. 2000. Principles of foraging and grazing behaviour. Page 229 *in* *Grass: its production and utilization*. A. Hopkins, ed. Blackwell Science.
- Rook, A. J., C. A. Huckle, and P. D. Penning. 1994. Effects of sward height and 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., J. E. P. Santos, C. B. Theurer, and J. T. Huber. 1998. Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: a 12-year literature review. *J. Dairy Sci.* 81:3182-3213.
- Sayers, 1999. The effect of sward characteristics and level and type of supplement on grazing behaviour, herbage intake and performance of lactating dairy cows. Ph.D. Thesis. Queen's University of Belfast. The Agricultural Research Institute of Northern Ireland. Hillsborough.
- Schor, A., and G. A. Gagliostro. 2001. Undegradable protein supplementation to early-lactation dairy cows in grazing conditions. *J. Dairy Sci.* 84:1597-1606.
- Schwarz, F. J., J. Haffner, and M. Kirchgessner. 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., and G. A. Gagliostro. 2000. Fishmeal supplementation to grazing dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 83:2899-2906.
- Schroeder, G. F., G. A. Gagliostro, D. Becu-Villalobos, and I. Lacau-Mengido. 2002. Supplementation with partially hydrogenated oil in grazing dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 85:580-594.
- Soriano, F. D., C. E. Polan, and C. N. Miller. 2000. Milk production and composition, rumen fermentation parameters, and grazing behavior of dairy cows supplemented with different forms and amounts of corn grain. *J. Dairy Sci.* 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 and wheat bran. *Swedish J. Agric. Res.* 21:131-139.
- St-Pierre, N. R. 2001. Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *J. Dairy Sci.* 84:741-755.
- Stakelum, G. 1986a. Herbage intake of grazing dairy cows. 1. Effect of autumn supplementation with concentrates and 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 and 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 and 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 and performance of grazing dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric.* 39:811-817.
- Stockdale, C. R. 2000a. Differences in body condition and body size affect the responses of grazing dairy cows to high-energy 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., and T. E. Trigg. 1985. Effects of pasture allowance and level of concentrate feeding on the productivity of dairy cows in late lactation. *Aust. J. Exp. Agric.* 25:739-744.
- Stockdale, C. R., A. Callaghan, and T. E. Trigg. 1987. Feeding high energy supplements to pasture-fed dairy cows. Effects of stage of lactation and level of supplement. *Aust. J. Exp. Agric.* 38:927-940.
- Tesfa, A. T., P. Virkajarvi, M. Tuoril, and L. Syrjala-Qvist. 1995. Effects of supplementary concentrate composition on milk yield, milk composition and pasture utilization of rotationally grazed dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 56:143-154.
- Theurer, C. B., J. T. Huber, A. Delgado-Elorduy, and R. Wanderley. 1999. Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:1950-1959.
- Valentine, S. C., E. H. Clayton, G. J. Hudson, and J. B. Rowe. 2000. Effect of virginiamycin and sodium bicarbonate on milk production, milk composition and 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 and milk production of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 40: 241-250.
- Valk, H., H. W. Klein Poelhuis, and H. J. Wentink. 1990. Effect of fibrous and starchy carbohydrates in concentrates as supplements in herbage-based diet for high yielding dairy cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 38:475-486.
- Van Vuuren, A. M., J. Van der Koelen, and J. Vroons-de Bruin. 1986. Influence of the level and composition of concentrate supplements on rumen fermentation patterns of grazing dairy cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 34:457-467.
- Vazquez, O. P., and T. R. Smith. 2000. Factors affecting pasture intake and total dry matter intake in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:2301-2309.
- Wales, W. J., Y. J. Williams, and P. T. Doyle. 2001. Effect of grain supplementation and 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., C. R. Stockdale, W. J. Wales, P. T. Doyle, and D. W. Dellow. 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., M. J. Gibbs, C. A. Huckle, and A. J. Clements. 1994. Effect of supplementation on production by spring-calving dairy cows grazing swards of differing clover content. *Grass Forage Sci.* 49:465-475.
- Wu, Z., L. J. Massingill, R. P. Walgenbach, and L. D. Satter. 2001. Cracked dry or finely ground high moisture shelled corn as a supplement for grazing cows. *J. Dairy Sci.* 84:2227-2230.

Figura 1. Relacion 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., 2002a; □ Robaina et al., 1998; ■ Stockdale, 1999a).

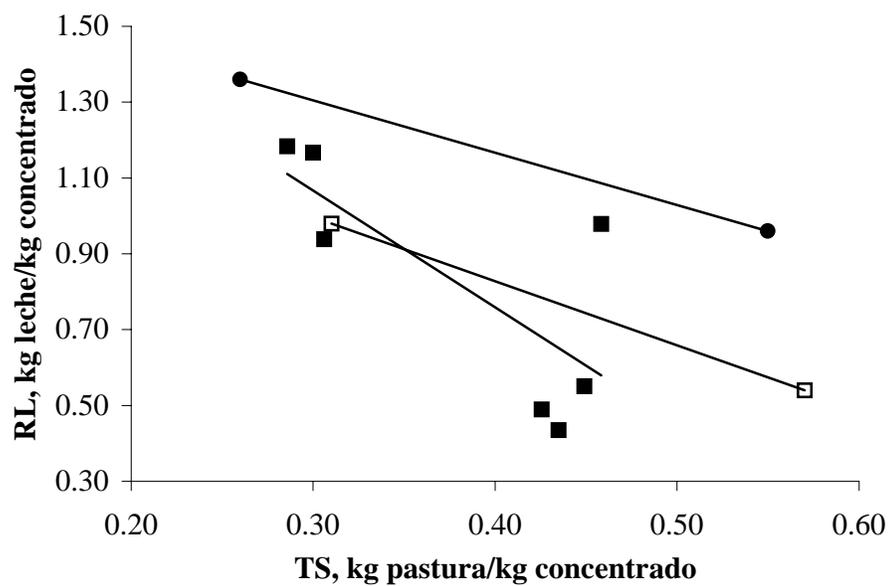


Figura 2. Relacion entre producci3n de leche (PL) y consumo de MS de concentrado (CMSC) en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con diferentes cantidades de concentrado (■ estudios con vacas < 90 d3as en lactancia o > 28 kg leche/d al inicio del experimento; Bargo et al., 2002a; Delaby et al., 2001; Gibb et al., 2002; Reis and Combs, 2000b; Sayers, 1999; □ estudios con vacas > 160 d3as en lactancia o < 23 kg leche/d al inicio del experimento; Robaina et al., 1998; Sayers, 1999; Walker et al., 2001).

