

**EFFECTOS DE LA CALIDAD DEL FORRAJE Y EL TIPO DE
CONCENTRADO SOBRE EL CONSUMO VOLUNTARIO
Y PRODUCCIÓN DE LECHE EN VACAS LECHERAS**

por

Mario I. Rosario López

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

INDUSTRIA PECUARIA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2005

Aprobada por:

Paul F. Randel, Ph.D.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Ernesto O. Riquelme, Ph.D.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Teodoro M. Ruiz, Ph.D.
Presidente del Comité Graduado

Fecha

Edwin Más, M.S.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

José R. Latorre, Ph.D.
Director de Departamento

Fecha

ABSTRACT

An experiment was conducted to evaluate the effects of forage quality and type of concentrate on dry matter intake and milk production of dairy cows in early lactation. Eight cows, six Holstein and two cross-bred (Holstein x Brown Swiss) were used in a 2 x 2 factorial arrangement of treatments and a 4 x 4 latin square design, replicated twice. Experimental treatments compared alfalfa hay (HA) (15.55 % CP and 48.13 % NDF) and pangola grass hay (HP) (3.73 % CP and 68.48 % NDF) and two concentrates, one formulated by the investigators (CF) (16.10 % CP and 1.86 Mcal/kg NE_L) and one from a commercial source expected to be of high energy (CC) (18.45 % CP and 1.88 Mcal/kg NE_L). Result showed no significant differences due to type of concentrate used for any of the variables evaluated, although the contrast between the two in energy level was less than had been planned. Hay consumption (9.67 vs. 8.20 kg/day), total dry matter intake (19.7 vs. 17.0 kg/day) and milk production (25.7 vs. 21.0 kg/day) were higher ($P < .01$) when cows received diets with HA. The consumption of NDF (6.60 vs. 6.03 kg/day) was higher ($P < .05$) in cows consuming diets with HP, as was milk fat content (3.79 vs. 2.86 %). However, milk protein content tended to be higher in HA diets (2.59 vs. 2.47 %). The efficiency of total dry matter and organic matter intake used for milk production was not affected by treatment; however, the efficiency of concentrate utilization was higher (2.56 vs. 2.37 kg milk/kg concentrate) in diets with HA. Income over feed costs was also higher (\$7.88 vs. \$7.07) for diets with HA. In conclusion, the use of HA is a better alternative to maximize feed intake and milk production of lactating cows in early lactation than local grass hay of poor quality.

RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar el efecto de la calidad del forraje y el tipo de concentrado en la dieta sobre el consumo de materia seca y producción de leche en vacas lecheras en etapa temprana de lactancia. Se utilizaron ocho vacas, seis de la raza Holstein y dos cruzadas (Holstein x Pardo Suizo) en un arreglo factorial 2 x 2 de tratamientos y un diseño de cuadrado latino 4 x 4, repetido dos veces. Los tratamientos experimentales compararon heno de alfalfa (HA) (15.55 % PB y 48.13 % FDN) y heno de hierba pangola (HP) (3.73 % PB y 68.48 % FDN) y dos tipos de concentrados lecheros, uno formulado por los investigadores (CF) para 16.10 % PB y 1.86 Mcal/kg NE_L y otro comercial que se esperaba que fuera de alta energía (CC) (18.45 % PB y 1.88 Mcal/kg NE_L). No se observaron diferencias significativas debido al tipo de concentrado utilizado para ninguna de las variables evaluadas si bien el contraste en concentración energética entre los dos fue menos de lo esperado. El consumo de MS de heno (9.67 vs. 8.20 kg/d), de MS total (19.7 vs. 17.0 kg/d) y producción de leche (25.7 vs. 21.0 kg/d) fueron mayores ($P < .01$) cuando las vacas consumieron dietas con HA. El consumo de FDN (6.60 vs. 6.03 kg/d) fue mayor ($P < .05$) cuando consumieron dietas con HP y de igual forma el contenido de grasa láctea (3.79 vs. 2.86 %). Sin embargo, las dietas basadas en HA tendieron a dar un mayor contenido de proteína láctea (2.59 vs. 2.47 %). Las variables de eficiencia de utilización de materia seca o materia orgánica para producir leche no fueron afectadas por tratamiento; sin embargo, las dietas de HA presentaron una mayor eficiencia en la utilización de alimento concentrado (2.56 vs. 2.37 kg leche/kg concentrado). Las dietas con HA arrojaron un mayor ingreso sobre costos de alimentos (\$7.88 vs. \$7.07) que las basadas en HP. Se concluye que el uso de HA es una mejor alternativa que el heno de

gramíneas local de baja calidad para maximizar el consumo de materia seca y producción de leche por vacas lecheras en etapa temprana de lactancia.

DEDICATORIA

El trabajo realizado en esta tesis va dirigido principalmente a Dios, por brindarme la sabiduría e iluminación necesaria para la realización de esta investigación. A mis padres Mario Rosario Pérez y Lillian E. López López por brindarme la vida, guiar mis pasos a lo largo de la misma y apoyarme en todo momento. A mi esposa Loures Rivera Estremera, por su cariño, comprensión y consejos en esta decisión tan importante. A mis hermanos Vanessa y Carlos y a todos mis amigos que en algún momento aportaron en la realización de este trabajo. Finalmente a todos aquellos que me han apoyado y que de alguna forma han contribuido y compartido en mi formación como profesional y muy en especial en mi formación como ser humano.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi comité graduado, Dr. Teodoro M. Ruiz (Presidente), Paul F. Randel y Ernesto O. Riquelme por darme la oportunidad de completar una meta y a su vez ampliar y aportar mis conocimientos en el campo de la investigación. De igual forma quiero agradecer a todo el personal del Departamento de Industria Pecuaria por toda la ayuda prestada a través de mi preparación profesional. A la vaquería experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas por las facilidades y mano de obra prestadas durante el experimento. Al Dr. Paul F. Randel y al Agro. Carlos N. Torres por su ayuda prestada en el campo durante los periodos experimentales. Al Prof. Edwin Más y al Agro. Hecmar Nieves Nieves, amigos y consejeros. En fin a todos mis compañeros que formaron parte en la preparación de este estudio.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Lista de Cuadros	viii
Lista de Abreviaturas	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA	5
A. Calidad Forrajera en el desempeño de las vacas lecheras	5
B. Utilización de alimento concentrado como suplemento del forraje	15
C. Caracterización de la fermentación ruminal	28
D. Importancia de la energía en la etapa temprana de lactancia	30
E. Importancia de los electrolitos en la vaca lechera	33
III. CAPÍTULO II. INVESTIGACIÓN DE TESIS	36
Introducción	36
Materiales y Métodos	38
Resultados y Discusión	42
Conclusiones	52
Implicaciones	54
Referencias	55
Apéndice	63

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Composición química del heno de pangola (HP), heno de alfalfa (HA), concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF) utilizado para alimentar vacas en etapa temprana de lactancia.	43
2.	Composición química de la dieta consumida por vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).	44
3.	Consumo de materia seca de vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).	45
4.	Producción y composición de la leche de vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).	48
5.	Medidas de eficiencia en el uso de los alimentos para producir leche por vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).	50
6.	Costos e ingresos sobre costos de alimento de las dietas consumidas por vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).	51

LISTA DE ABREVIATURAS

Ácidos grasos volátiles	AGV
Alimento concentrado	AC
Concentrado lechero comercial	CC
Concentrado lechero formulado	CF
Consumo de FDN como porcentaje de peso vivo	CFDNPV
Consumo de heno como porcentaje de peso vivo	CHPV
Consumo MO total como porcentaje de peso vivo	CMOTPV
Consumo MS total como porcentaje de peso vivo	CMSTPV
“Dairy Herd Improvement Association”	DHIA
Diferencia cationes-aniones (“Cation-anion difference”)	CAD
Energía metabolizable	EM
Energía neta para lactación (“Net energy for lactation”)	NE _L
Fibra detergente ácido	FDA
Fibra detergente neutro	FDN
Heno de alfalfa	HA
Heno de hierba pangola	HP
Materia inorgánica	MI
Materia orgánica	MO
Materia seca	MS
Nitrógeno no proteico	NNP
Nutrientes totales digeribles	NTD
Proteína cruda	PC

Raciones totales mixtas	("Total mixed rations")	TMR
Razón acético:propiónico		A:P
Relación forraje:concentrado		F:C

INTRODUCCIÓN

La utilización de forrajes y concentrados de alta calidad para la alimentación del ganado lechero es esencial para la maximización de la producción de leche y la eficiencia productiva de las vacas durante la lactancia temprana, lo que a su vez se refleja en una mayor producción de leche a través de la lactancia. Calidad forrajera se define como el potencial productivo del forraje mediado por el valor nutritivo, digestibilidad y consumo voluntario. El alto contenido de fibra y baja digestibilidad de forrajes tropicales es uno de los factores más limitantes para maximizar el consumo de MS y la producción de leche de vacas en etapa temprana de lactancia. Actualmente las gramíneas tropicales, y en menor grado las leguminosas importadas (ej. alfalfa), constituyen las fuentes de forraje para el ganado lechero en Puerto Rico.

Las gramíneas tropicales producidas localmente, son típicamente de baja digestibilidad, debido a su rápida maduración y alto contenido de carbohidratos estructurales. Durante las etapas tempranas de crecimiento, las gramíneas tropicales tienen una alta proporción de hojas, pero la relación hoja/tallo disminuye rápidamente a medida que la madurez de la planta aumenta (Demarquilly y Jarrige, 1974).

Para mejorar la calidad del forraje ofrecido, muchos ganaderos en Puerto Rico han recurrido a la importación de forrajes de mejor calidad como el heno de alfalfa (HA). La alfalfa (*Medicago sativa*) es una leguminosa con alto contenido proteico que presenta una difícil propagación en los trópicos. Debido al alto costo de forrajes de alta calidad como la alfalfa y a la baja calidad de las pasturas tropicales, los ganaderos en su gran mayoría han optado por la suplementación con grandes cantidades de alimentos concentrados (AC) para alimentar sus vacas lecheras.

Los AC consisten de diferentes ingredientes orgánicos y minerales que deben ser mezclados y combinados en proporciones apropiadas para proveer una dieta balanceada (Broster y Swan, 1979). Estos se caracterizan por contener poca fibra y ser de poco volumen y de alta digestibilidad. Son formulados principalmente para suplementar energía y proteína en la dieta de las vacas lecheras. También proporcionan vitaminas y minerales que en ocasiones pueden estar deficientes en los forrajes y limitantes en el consumo de MS y la producción de leche. Los ingredientes de alto valor energético se incluyen con el fin principal de aumentar la densidad energética de la dieta. La energía alimentaria la proporcionan principalmente los carbohidratos de fácil utilización (azúcares y almidones) y las grasas. Según la etapa de producción del animal, los concentrados pueden conformar una alta proporción de la dieta total (Church y colaboradores, 2002). Los alimentos con alto contenido de energía más comúnmente utilizados son los granos de cereales (ej. sorgo, maíz, cebada, trigo) y sus derivados, ingredientes líquidos (como la melaza) y grasas o aceites de origen vegetal o animal. Los concentrados proteicos incluyen notoriamente las semillas oleaginosas, sus derivados y ciertos ingredientes de fuentes animales como harinas de carnes y de productos marinos.

En Puerto Rico la mayor parte de las vaquerías usan dietas mayoritariamente a base de concentrado y usualmente ofrecen la misma cantidad a todas las vacas lactantes del hato independientemente de su etapa de lactancia. Sin embargo, la suplementación con AC debería estar basada en la producción de leche y ofrecida principalmente a las vacas altas productoras que lo requieren para maximizar su producción. Proveer forrajes *ad libitum* y suplementar con AC de acuerdo a la producción de leche es un método adecuado para la alimentación de vacas lecheras (Reid y colaboradores, 1959). Debe

evitarse una sobrealimentación de AC para minimizar trastornos metabólicos como la acidosis.

La insuficiencia de energía digerible que caracteriza las pasturas tropicales limita la producción de leche de vacas altas productoras, especialmente en la etapa temprana de lactancia cuando la energía es el factor más limitante de la producción de leche. El suplementar con AC puede proveer los nutrientes que están deficientes en los forrajes tropicales y que son necesarios para la producción. La suplementación con concentrados promueve la tasa de desaparición de la materia seca (MS) reduciendo así el tiempo de retención de los alimentos en el rumen (Bargo y colaboradores, 2002a). Además la razón acético:propiónico (A:P) en el contenido ruminal aumenta a favor de propionato lo que estimula la síntesis de glucosa a partir de propionato en los tejidos del cuerpo (gluconeogénesis). Este fortalecimiento de la energía disponible propicia un aumento en la producción de leche.

Se ha sugerido como práctica económica reducir la concentración de energía de la dieta y aumentar la razón forraje a concentrado (F:C) para vacas en etapa tardía de lactancia (Broster y colaboradores, 1969; Broster, 1976; Broster y Johnson, 1977). Luego del parto, la vaca alta productora comienza a perder peso debido a un desbalance entre la energía en la leche producida y la energía consumida en la ración, y experimenta la movilización de las reservas corporales para cubrir el déficit energético. Durante la lactancia temprana los requerimientos nutricionales no son provistos totalmente en la ración y en particular las vacas consumiendo forrajes tropicales, ya que no se ingiere la cantidad de MS y energía necesaria para la alta producción de leche. Entonces la vaca comienza a perder peso por una rápida movilización de los tejidos adiposos corporales,

los cuales sirven como fuentes de energía para cubrir el déficit energético durante esta etapa.

Es necesario maximizar el consumo de energía provista de una manera más efectiva por forrajes de alta calidad y AC. En la etapa temprana de lactancia el heno ofrecido debe ser inmaduro (corte a \pm 30 días) para maximizar su calidad, digestibilidad, consumo voluntario y capacidad para promover la producción de leche. El consumo voluntario del heno es afectado por la calidad de éste y por la suplementación de AC. A medida que aumenta dicha suplementación y la calidad del forraje disminuye, el consumo de forraje también disminuye.

La industria lechera local tiene una alta dependencia en la utilización de los AC importados. Una utilización más intensiva de forrajes de alta calidad podría reducir esta dependencia (Randel y Fernández Van Cleve, 1988). Los principios que guían la formulación de raciones se basan en mantener constante la eficiencia de conversión de energía dietética a producción de leche (MacRae y colaboradores, 1988). Es pertinente proveer la cantidad de energía necesaria en los periodos más críticos de la lactancia, sobre todo la etapa temprana, cuando ocurre una rápida movilización del tejido adiposo y pérdida de peso corporal. Por otra parte la capacidad de consumo de MS del animal no es máximo en esta etapa de lactancia, por lo cual se requiere dietas que maximizen el aporte de energía sin afectar negativamente el funcionamiento ruminal.

Capítulo I.

REVISIÓN DE LITERATURA

A. Calidad forrajera en el desempeño de las vacas lecheras

La calidad del forraje es definida en términos del desempeño del animal, utilizando criterios tales como, ganancia de peso vivo, producción de leche, producción de fibra (pelo y lana) y desempeño reproductivo (Ball y colaboradores, 2002). En la alimentación de vacas lecheras la producción de leche es la medida más crucial para indicar calidad forrajera (Alhadhrami y Huber, 1992). Alimentar con forrajes de alta calidad reduce los costos de la alimentación ya que usualmente estos representan la fuente más económica de nutrientes. Su consumo también propicia un aumento en el consumo de MS y la producción de leche.

Una de las limitaciones para la producción de leche en las vaquerías es la pobre utilización de las pasturas durante el apacentamiento. Muller y Fales (1998) enfatizaron que dicha limitación se debe a un bajo consumo voluntario de forraje y a bajos niveles de nutrientes en las plantas forrajeras que no cumplen con los requerimientos de las vacas en producción. Forrajes de alta calidad tienden a propiciar un alto consumo de materia de alta digestibilidad que contiene un balance adecuado de nutrientes (Ball y colaboradores, 2002).

West y colaboradores (1997) utilizaron 40 vacas lecheras en etapa temprana de lactancia para determinar los efectos de la calidad del forraje sobre el consumo de MS, digestibilidad y producción de leche. Se utilizó heno de alfalfa y heno de hierba bermuda (*Cynodon dactylon*) en raciones totales mixtas (TMR) y se comparó dietas de baja

proporción de forrajes (15%) y de alta proporción (30%). Los tratamientos experimentales fueron: T1 (control-sin heno), T2 y T3 (heno de bermuda-15 y 30 %), T4 y T5 (heno de alfalfa-15 y 30 %), respectivamente. El consumo de MS fue mayor con dietas de alfalfa que con las de heno de bermuda (21.2 vs. 19.2 kg/d). De igual forma la producción de leche (28.2 vs. 26.8 kg/d) fue mayor en vacas alimentadas con HA que con heno de bermuda. En este estudio se demostró que la calidad del forraje es un factor determinante en el consumo de MS y la producción de leche.

La alta digestibilidad de los forrajes de alta calidad permite una mejor utilización de los nutrientes consumidos que son necesarios para la producción de leche. La cantidad de forraje que ingiere el ganado voluntariamente es el factor de mayor importancia en determinar su calidad. La cantidad de forraje que consume la vaca lechera dependerá primordialmente del tiempo que éste está accesible, de su digestibilidad y su contenido de fibra. La digestibilidad de la fibra forrajera aparenta ser uno de los factores de mayor importancia que influencia el consumo de MS y rendimiento de leche cuando diferentes tipos de forrajes son ofrecidos (Ruiz y colaboradores, 1995).

La digestibilidad y el consumo del forraje están relacionados directamente con la madurez de la planta. A medida que ésta madura aumenta el contenido de fracciones fibrosas de la pared celular. Estas fracciones son digeridas más lentamente y a un menor grado que la fracción soluble. La pared celular de los forrajes consta de tres partes: lámina media, pared primaria y pared secundaria (Valenciaga y Chongo, 2004). La lámina media es amorfa y se compone principalmente de sustancias pécticas. La pared primaria se forma seguida de la división celular, mientras la secundaria se desarrolla cuando la célula termina su crecimiento. Los compuestos más prominentes, sobretodo en

la pared secundaria son celulosa y lignina. La celulosa que se halla presente en la fase fibrilar, es un polisacárido (polímero de glucosa) resistente a la hidrólisis de enzimas digestivas producidas por los animales. La lignina es otra sustancia no carbohidrato de la pared celular que cumple con funciones estructurales y de soporte principalmente en plantas maduras (Church y colaboradores, 2002). Mientras la planta avanza en madurez sus contenidos de celulosa y lignina aumentan, lo cual reduce su digestibilidad. La hemicelulosa, presente principalmente en la fase amorfa de la pared primaria, es potencialmente digerible en su totalidad, mientras que la celulosa se torna progresivamente más cristalina y menos digerible. El consumo voluntario también muestra una tendencia decreciente al madurarse la planta.

Arroyo-Aguilú y colaboradores (1975) evaluaron 5 gramíneas tropicales: Guinea (*Urochloa maxima*), Pangola (*Digitaria eriantha*), Congo (*Urochloa ruziziensis*), Merker (*Pennisetum purpureum*) y Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), de 7 a 63 días de edad muestradas a intervalos de corte de 7 días. Estas gramíneas presentaron un aumento de compuestos estructurales, principalmente celulosa y lignina, a medida que se maduraba la planta. En adición hubo una disminución en el contenido de proteína cruda (PC) desde valores superiores al 10% hasta la edad de 28 días a tan solo 5.6% a los 63 días.

La fibra presente en dietas para vacas lecheras debe ser provista principalmente por forrajeras (gramíneas y leguminosas) de alta calidad para maximizar el consumo de MS y la producción de leche (Vicente Chandler y colaboradores, 1983). Podemos definir la fibra en dietas de rumiantes como material vegetativo no digerido por enzimas del propio animal. La inclusión de forrajes en la dieta es requerido primordialmente para proveer la fibra adecuada para un buen funcionamiento ruminal (Beauchemin y Rode,

1994). La fibra dietética juega un papel fundamental en los rumiantes y es necesaria para optimizar la fermentación ruminal y estimular actividades como masticar y rumiar, lo que promueve el consumo de MS (Bargo y colaboradores, 2002b). La fibra forrajera se describe en términos analíticos como fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA). Los porcentajes de FDN y FDA recomendados en dietas para vacas altas productoras en etapa temprana de lactancia varían desde 25 a 35% y de 19 a 21%, respectivamente, dependiendo de la digestibilidad de la fibra en el forraje (NRC, 2001). La digestibilidad de la FDN es un factor importante para determinar la calidad del forraje.

Beauchemin (1991) utilizó 6 vacas Holstein fistuladas para evaluar los efectos de la concentración de FDN en la dieta y la calidad del heno de alfalfa sobre los procesos digestivos. Las vacas recibieron una de seis dietas TMR con dos diferentes henos, de etapa temprana o mediana de maduración, y formuladas para proveer tres concentraciones de FDN: 31, 34 y 37%. Los tratamientos no afectaron el consumo de MS (22.3 kg/d), pero la producción de leche diaria (26.9 vs. 24.8 kg/d) tendió a disminuir ($P = .09$) a medida que la concentración de FDN en la dieta aumentaba de 31 a 37%. Este efecto negativo de la disminución de la calidad del forraje debido al aumento en la madurez de la planta puede ser minimizado formulando dietas con concentraciones adecuadas de FDN, 25 a 35% (NRC, 2001) y cosechando el forraje en etapa temprana de maduración.

Alhadhrami y Huber (1992) utilizaron 40 vacas Holstein alimentadas con heno de alfalfa a distintas concentraciones de FDA (26, 28, 32 y 38 %) para evaluar el desempeño en la lactancia y utilización de nutrientes. Cada heno fue incluido en un TMR en proporciones de 50:50 y 35:65 (F:C), constituyendo un arreglo factorial 4 x 2 de

tratamientos. Las vacas fueron alimentadas *ad libitum*. Al emplear la proporción de 50 % de forraje la producción de leche promedio para concentraciones de FDA de 26 y 28 % fue de 30.7 kg/d y para 32 y 38 % fue de 27.6 kg/d. Con la F:C de 35:65 la producción de leche promedio para concentraciones de FDA de 26 y 28 % fue de 31.2 kg/d y para 32 y 38 % de FDA fue de 29.7 kg/d. Por lo tanto, a ambas proporciones de F:C la producción de leche disminuyó al aumentar el porcentaje de FDA de la dieta, pero de 26 % a 38 % de FDA la disminución de la producción fue menos a F:C de 65:35 que a 50:50 y el consumo de MS (24.0 kg/d) no fue afectado.

Existen diversos factores que afectan la calidad del forraje. Entre éstos podemos mencionar la especie botánica, el clima, la palatabilidad, y el estado de madurez de la planta. Las gramíneas de zona templada generalmente son de mayor calidad y digestibilidad que las de zona tropical. En ambientes cálidos las altas temperaturas contribuyen a una rápida maduración y lignificación, disminuyendo así la digestibilidad del forraje. Las leguminosas (ej. alfalfa), por su alto contenido de proteína y digestibilidad, suelen ser forrajes de mayor calidad que las gramíneas (Church y colaboradores, 2002). Las leguminosas, como norma general, poseen una menor fracción de pared celular y de hemicelulosa y celulosa que las gramíneas, lo cual contribuye a hacerlas de mayor digestibilidad (Broster y Swan, 1979). Relativo a las gramíneas, su digestibilidad disminuye menos a medida que aumenta la madurez de la planta (Ball y colaboradores, 2002).

El clima es un factor determinante del valor nutritivo y composición química de los forrajes. El clima tropical propicia una rápida maduración de la planta y la digestibilidad disminuye al aumentar el contenido de los carbohidratos estructurales. Las

gramíneas tropicales presentan una mayor proporción de pared celular que las de clima templado, siendo éstas últimas consideradas como mejores forrajes para las vacas lecheras. Las gramíneas de zona templada, al igual que las leguminosas, fijan la energía solar inicialmente en forma de unidades de tres carbonos y por ende se conocen como plantas C3. En cambio las gramíneas tropicales fijan energía solar inicialmente en unidades de cuatro carbonos y se conocen como plantas C4 (Ball y colaboradores, 2002). La eficiencia de conversión de luz a energía química es relativamente baja en las plantas C3 (3%) relativo a las C4 (5 a 6%). Estas pueden utilizar casi toda la luz solar que es interceptada por sus hojas, en cambio, las hojas de las plantas C3 se saturan a un 25 a 30% de la luz total recibida (Ball y colaboradores, 2002). Además, las plantas C3 llevan a cabo el proceso de fotorespiración y así pueden desperdiciar hasta un 40 % de la energía fotosintética. No así las plantas C4 por lo cual son más eficientes en la utilización de la energía solar.

La palatabilidad es otro factor importante que incide en la calidad de un forraje. Puede afectar el consumo voluntario debido a la selección de una especie forrajera sobre otra. La selectividad se presenta cuando los animales muestran preferencia por las plantas o partes de plantas más nutritivas. Generalmente los forrajes de alta calidad son los más palatables. La palatabilidad puede verse afectada por la textura, aroma, sabor y succulencia (Ball y colaboradores, 2002). En algunos casos los animales alimentados con especies de forrajes menos palatables, pueden mostrar un desempeño satisfactorio si la calidad nutritiva del forraje es alta (baja concentración de fibra y alta digestibilidad de la misma) y el consumo no se ve muy afectado. La palatabilidad también depende de la etapa de crecimiento del forraje. Mientras las plantas maduran, las paredes celulares se

lignifican y constituyen una amplia proporción de la célula, resultando en una disminución en digestibilidad, contenido de PC y palatabilidad (Ball y colaboradores, 2002).

Los forrajes conservados comercializados en los trópicos resultan ser en la mayoría de los casos de baja calidad. Esto se debe a que los productores comerciales al procurar mayores rendimientos cosechan el forraje en etapa avanzada de madurez. Como consecuencia, disminuye su digestibilidad, contenido de energía y proteína. La edad de cosecha guarda una relación inversa con el contenido de PC del forraje. La proteína dietética que sobrepasa el rumen puede aportar ciertos aminoácidos esenciales (ej. lisina y metionina) para evitar que la falta de disponibilidad de éstos sea un factor limitante para la producción de leche y consumo de alimentos en vacas altas productoras. En vacas lecheras de baja o mediana producción los aminoácidos esenciales dietéticos no son de mucha importancia y difícilmente pueden limitar la producción de leche; más importante es la aportación de la proteína total.

Zimmerman y colaboradores (1991) utilizaron 32 vacas de la raza Holstein para examinar los efectos de tres niveles de proteína, dos fuentes de forraje y dos niveles de fibra en la dieta sobre la producción de leche y consumo de MS. Los tratamientos utilizados constaron de 3 dietas de heno de festuca (*Festuca arundinacea*) o “orchardgrass” (*Dactylis glomerata L.*) a diferentes niveles de proteína, bajo (14 %), mediano (18 %) y alto (22 %) y una dieta utilizando HA con 22 % de PC. De la primera a la cuarta semana (Periodo I) las vacas se alimentaron con la dieta alta en fibra (23 % FDA). De la quinta a la duodécima semana (Periodo II) las vacas se alimentaron con la dieta baja en fibra (11.5 % FDA). Entre los tratamientos altos en fibra al mayor nivel

de PC hubo mayor consumo de MS con alfalfa que con festuca (14.5 vs. 13.1 kg/d). Entre los niveles bajos en fibra no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en el consumo (19.4 vs. 18.7 kg/d). Entre los niveles altos en fibra la producción de leche fue mayor en las dietas de festuca altas y medianas en proteína (25.9 y 26.0 kg/d) que en la dieta baja en proteína (22.5 kg/d). Las vacas que consumieron la dieta de alfalfa tuvieron una mayor producción de leche (27.1 kg/d), que todas las dietas de festuca. Entre los niveles bajos en fibra la dieta baja en PC resultó en una menor producción de leche (28.0 kg/d), que las dietas de alta y mediana PC (30.4 y 31.8 kg/d, respectivamente). Al igual que entre las dietas altas en fibra la producción de leche fue mayor con alfalfa (32.0 kg/d). Estos datos señalan que dietas altas en contenido proteico son necesarias para maximizar la producción de leche. Estudios realizados por Jaquette y colaboradores, (1986) y por Lundquist y colaboradores, (1986) han demostrado que las dietas bajas en proteína resultan en una menor producción de leche debido a deficiencias en amino ácidos limitantes necesarios para sintetizar la proteína de la leche.

Uno de los retos en la utilización de pasturas como fuente de alimentación para vacas lecheras es maximizar el consumo de MS y la producción de leche (Holden y colaboradores, 1994). Los pastos, cuando se manejan apropiadamente reducen los costos de alimentación (O'Kiely, 1994). Caro Costas y Vicente Chandler (1979a) estudiaron la producción de leche por vacas que pastorearon hierba estrella o hierba guinea fertilizadas intensivamente sin suplementación con AC. A través de dos años de evaluación los pastos de estrella produjeron un promedio de 7,727 litros de leche/ha al año a base de 729 días-vaca de pastoreo, mientras con pastos de hierba guinea se produjo 5,593 litros de leche/ha al año con 543 días-vaca de pastoreo. Para minimizar los costos de producción

los nutrientes que requiere el ganado vacuno deben ser suplidos mayormente por el forraje, ya que éste es generalmente la fuente de nutrientes de menor costo. Las investigaciones de Caro Costas y Vicente Chandler demostraron que por lo menos los primeros 10 litros de producción diaria de leche pueden obtenerse sin proveer AC si las vacas se alimentan exclusivamente a base de pastos tiernos. El consumo de semejante forraje permite una alta selección de pasto de alto valor nutritivo a una carga animal baja. En uno de sus estudios, Caro Costas y Vicente Chandler (1979b) determinaron la producción de leche de vacas Holstein entre la primera y quinta lactancia, alimentadas exclusivamente de gramíneas tropicales (pangola, guinea y napier) bien abonadas con una carga animal de 2.5vacas/ha. Las vacas de primera lactancia produjeron un promedio de 2,044 kg de leche. La producción aumentó en lactancias sucesivas hasta alcanzar 4,800 kg para las vacas en la quinta.

El manejo adecuado de los forrajes es un factor importante en la producción de leche ya que así se mantiene alto el valor nutritivo a través de toda la lactancia, lo cual minimiza los gastos de alimentación y garantiza un mayor consumo y respuesta productiva. Ruíz y Rosario, (2004) llevaron a cabo un estudio para determinar los efectos de la calidad del forraje de henos de leguminosa y la suplementación alimentaria sobre el consumo voluntario y producción de leche de vacas lecheras en el trópico. Se utilizaron 9 vacas Holstein en etapa media de lactancia. Los tratamientos consistieron de henos de bermuda (BGH), alfalfa, y maní forrajero (RPP) ofrecidos *ad libitum* y AC a razón de 1 kg por cada 2.25 kg de leche producida. La producción diaria de leche por las vacas que consumieron BGH, HA y RPP fue 18.9, 20.5, y 20.0 kg/d, respectivamente. Estos investigadores concluyeron que vacas de bajo rendimiento lechero que reciben altos

niveles de suplementación con AC, no responden con mayor producción de leche cuando se alimentan con henos de mayor valor nutritivo.

Randel y Fernández Van Cleve (1988) utilizaron treinta vacas Holstein y Pardo Suizo para evaluar dietas a base de hierba estrella ofrecida *ad libitum* a vacas en confinamiento, ya sea en forma de forraje verde (6.21 % PC) o heno (5.59 % PC) y suplementación módica con AC. Las vacas fueron manejadas en seis grupos de cinco animales. La suplementación individual consistió de concentrado comercial (18% PB), a razón de 1 kg de AC por cada 2.2 kg de leche producida. El consumo total de MS del forraje verde fue de 10.71 kg/d (2.59 % PV) en combinación con 2.85 kg/d de AC. Las cifras correspondientes para el heno fueron de 9.22 kg/d de MS (2.32 % PV) y 3.14 kg/d de AC. La producción de leche fue de 11.0 y 9.97 kg/d para las vacas consumiendo forraje verde y heno, respectivamente. La calidad de la hierba estrella utilizada como forraje verde o heno no fue la adecuada para proveer los nutrientes suficientes para un desempeño productivo satisfactorio. La suplementación con concentrados utilizada fue insuficiente para superar esta limitación. Se concluyó que para garantizar una producción de leche adecuada con este tipo de raciones para vacas en confinamiento, se precisan forrajes de altos niveles de energía y proteína o una suplementación más intensiva con AC. La utilización de forraje de gramíneas tropicales para alimentar vacas en confinamiento requieren de altos niveles de suplementación con AC para mantener una alta producción de leche a menos que el forraje ofrecido sea de óptimo valor nutritivo.

B. Utilización de alimento concentrado como suplemento del forraje

Para que las vacas lecheras altas productoras puedan alcanzar su potencial genético de producción, necesitan de dietas con altos niveles de nutrientes y energía que cubran los requerimientos nutricionales. Estos requerimientos normalmente no pueden ser provistos por forrajes solamente (Kennedy y colaboradores, 2003). Las vacas altas productoras deben consumir y digerir grandes cantidades de alimentos de alta calidad para obtener los nutrientes necesarios para optimizar la producción de leche. La práctica de suplementar la dieta con AC en etapa temprana de lactancia aumenta el consumo de energía e incrementa la fermentación ruminal y la síntesis de proteína microbial, lo que a su vez contribuye a optimizar el consumo de MS y la producción de leche (Kennedy y colaboradores, 2003). Durante la lactancia temprana la demanda de energía es mayor, debido al alto potencial para producción de leche durante este periodo. Los AC proveen los nutrientes y la energía que la vaca lechera necesita para optimizar su producción.

El periodo de transición de la vaca lechera es una de las etapas más importantes que puede influir en la producción de leche a través de toda la lactancia. Dicho periodo comprende desde tres semanas antes hasta tres semanas después del parto (Grummer, 1995). Varios desordenes metabólicos, problemas de salud y pérdida de peso son muy comunes durante el periodo de transición, y pueden afectar el potencial productivo de la vaca lechera a largo plazo (Drackley, 1999). Una mala alimentación en el periodo de transición puede afectar el pico productivo y la persistencia de la curva de lactación, resultando en pérdidas económicas. Por el contrario, una nutrición apropiada durante el periodo de transición puede mejorar el desempeño lechero a través de toda la lactancia (Drackley, 1999).

La suplementación con AC en la lactancia temprana propicia un mayor consumo de MS y provee los nutrientes y la energía necesarios para la producción en el periodo más crítico cuando las vacas suelen presentar un balance energético negativo. En los trópicos la suplementación intensiva con AC se hace necesaria debido al bajo contenido de energía de las pasturas locales. Sin embargo, dicha suplementación en cantidad excesiva puede recargar la capacidad digestiva de la vaca, lo cual resulta en efectos negativos sobre el consumo de forrajes, fermentación ruminal y eficiencia en el uso de energía para la producción de leche (Cancel, 2002).

Durante la lactancia temprana los requisitos energéticos del animal aumentan y la probabilidad de que ocurra una deficiencia en el consumo de energía es mayor. La energía adicional que se le provee al animal cuando se aumenta la concentración energética del concentrado utilizado puede ayudar a subsanar el balance energético negativo después del parto. Alimentar las vacas lecheras con una dieta alta en energía durante tres a cuatro semanas antes del parto es una práctica observada en vaquerías comerciales (Rabelo y colaboradores, 2003). De esta manera se propicia un aumento en el consumo de energía utilizada para la producción de leche y a su vez se minimiza la pérdida de peso postparto. Entonces, la vaca entra en una fase de balance energético positivo y aumenta en peso corporal pasado el pico de producción (Broster y Swan, 1979).

Los carbohidratos no estructurales son aquellos que no forman parte de los componentes de las paredes celulares de las plantas. Usualmente se encuentran en alta concentración en los granos cereales y sus derivados. El uso de dietas con un contenido moderado de carbohidratos no estructurales usualmente disminuye el riesgo de acidosis

ruminal y otras enfermedades comunes durante la etapa temprana de lactancia (Nocek, 1977). Los microorganismos ruminales pueden adaptarse a altos consumos de concentrados rápidamente postparto, luego de un periodo previo de alimentación con dietas altas en carbohidratos no estructurales. Esto permite el desarrollo de papilas ruminales para incrementar la absorción de ácidos grasos volátiles (AGV) que aportan energía necesaria para mantener la alta producción de leche. Por su parte, los carbohidratos estructurales en la dieta son necesarios para mantener el pH ruminal, un funcionamiento ruminal normal y un debido balance en las poblaciones microbianas. Estos carbohidratos provienen principalmente de los forrajes. En etapa mediana a tardía de lactancia las dietas de vacas lecheras pueden depender mayormente de alimentos fibrosos como fuentes de nutrientes debido a que la producción de leche ha disminuido y por lo tanto también los requerimientos nutricionales.

La relación F:C recomendable en la dieta varía entre 60:40 a 40:60 (Flatt y colaboradores, 1969; Wiktorson, 1971; Lamb y colaboradores, 1976). Mantener dicha relación entre límites recomendables es necesario para maximizar la producción de leche de composición adecuada y mantener un buen funcionamiento ruminal. La razón F:C en la dieta afecta el consumo y la digestión en vacas lecheras a través de mecanismos físicos y químicos. Un mecanismo físicos es la distensión ruminal o llenura, causado por el alto volumen del alimento ingerido. El volumen interno del rumen aumenta cuando se consumen dietas de alta fibrosidad. Sin embargo, durante la lactancia temprana el consumo de MS es usualmente limitado por el factor físico, en dietas altas en forrajes tropicales. Otro factor pertinente es el tiempo que las vacas pasan ingiriendo y rumiando forrajes de muy baja calidad, limitando así su consumo (Allen, 2000). Los mecanismos

químicos involucrados incluyen la fermentación ruminal alterada conducente a la producción de ácidos orgánicos en proporciones desiguales y en cantidades excesivas (Sheperd y Combs, 1998). Esto suele acompañar el uso de dietas bajas en fibra, las cuales causan una disminución en el pH ruminal y reducción en la digestibilidad de la fibra (Hoover, 1986).

Los patrones fermentativos de producción de ácidos en el rumen pueden ser alterados a consecuencia de cambios en la razón de F:C. De igual forma la respuesta en términos de consumo y digestión de la dieta se ve afectada por la proporción de F:C (Sheperd y Combs, 1998). Un exceso en la producción de ácidos debido a la fermentación de dietas bajas en forrajes resulta en un pH ruminal rebajado, el cual puede causar una disminución en la digestión de la fibra (Hoover, 1986). Voelker y colaboradores (2002) utilizaron 32 vacas Holstein en etapa mediana a tardía de lactancia (197 ± 55 d) para evaluar la relación entre el rendimiento lechero y los efectos de la razón F:C en la dieta, sobre el consumo de MS y la digestión. Las dietas incluyeron ensilaje de alfalfa y ensilaje de maíz aportando cada uno 50 % de la MS forrajera. Los tratamientos consistieron de una dieta alta y otra baja en forraje, con relaciones F:C de 67:33 y 44:56, respectivamente. El rendimiento lechero fue mayor con la dieta baja en forrajes (33.3 vs. 31.0 kg/d) y así también el consumo de MS (23.7 vs. 22.0 kg/d) y el consumo de almidón (8.1 vs. 5.2 kg/d). Esta fracción es más digerible que la fibra en todo el tracto digestivo (NRC, 2001). Sin embargo, la digestibilidad de la MS no fue diferente entre los dos niveles de forraje. La reducción en la proporción de forraje resultó en un mayor consumo de energía neta para lactación (NE_L), (35.9 vs. 33.1 Mcal/d) y en un menor consumo de FDN (6.5 vs. 5.6 kg/d) que con dietas altas en forrajes.

Dietas altas en forrajes resultan en un mayor llenado del rumen y una evacuación de las partículas de ingesta fuera del retículo-rumen más lenta, resultando así en un menor consumo total de MS (Grant, 1997). Por otro lado, cuando se proveen dietas con proporciones altas de AC se observa una disminución en la digestibilidad de la FDN (Colucci y colaboradores, 1982; Llano y DePeters, 1985). Dietas altas en forrajes generalmente resultan también en pH ruminal más alto, el cual permite una fermentación ruminal del forraje más extensiva (Hoover, 1986). Voelker (2002) observó un aumento en el consumo de MS a consecuencia del menor consumo de fibra en dietas bajas en forrajes, lo cual incentivó la producción de leche y la acumulación de reservas corporales en vacas de producción moderada y alta. Las respuestas en la producción de leche indican que tanto las vacas bajas como las altas productoras utilizan una mayor proporción de la energía consumida para la producción de leche que para síntesis de tejido corporal con dietas bajas en forrajes (Voelker, 2002).

En vacas en etapa temprana a mediana de lactancia un alto porcentaje de la energía metabolizable consumida tiende a ser utilizada para la producción de leche. Entre las vacas altas productoras, mientras el consumo de energía aumenta, la proporción de los nutrientes consumidos utilizados para mantenimiento disminuye, ya que dirigen una mayor parte de la energía consumida hacia la producción de leche (Voelker, 2002). En las vacas altas productoras se da una mayor prioridad al aumento en la síntesis de leche sobre el mantenimiento de las reservas corporales (Rabelo y colaboradores, 2003).

Randel (1995) comparó dos niveles de suplementación (8 y 9 kg/d) de AC a vacas pastoreando hierbas tropicales mientras otro grupo estuvo en confinamiento consumiendo dietas con proporciones de F:C de 40:60 y 50:50, en dos fases sucesivas (I y II) del

experimento, ofrecidas en TMR. Durante la fase I (120 días) nueve vacas apacentaron rotacionalmente en predios de gramíneas no abonadas durante la época de sequía y recibieron concentrados suplementarios (TA), mientras que el otro grupo en confinamiento recibieron el TMR de 40 % de heno de gramíneas tropicales y 60 % de concentrados (TB). Durante la fase II (37 días), el TMR fue de 50 % heno y 50 % concentrados; el grupo en pastoreo continuó como antes. La producción diaria de leche para TA y TB en la fase I fue de 16.1 y 17.8 kg/d, respectivamente, y el consumo de MS del TB fue de 18.2 kg/d. Las respectivas producciones en la fase II fueron de 13.7 y 15.5 kg/d mientras el consumo de MS en TB fue de 17.7 kg/d. El TMR resultó en una mayor producción de leche y presumiblemente un mayor consumo de MS en ambas fases, que el manejo a pastoreo con suplementación. Sin embargo, ambas fórmulas de la TMR resultaron en un mayor consumo de AC por unidad de leche producida.

La reducción en el consumo de forraje al aumentar el consumo de AC suplementario se define como la tasa de sustitución (Kellaway y Porta, 1993). Factores tales como la calidad y digestibilidad de la pastura, el nivel de suplementación, y otros propios del animal pueden afectar la tasa de sustitución. De igual forma puede ser afectada por el potencial de consumo del forraje (Waldo, 1986), el contenido y tipo de almidón en el AC (Dulphy, 1980), la proporción del AC en la dieta (NRC, 2001), el contenido de PC del suplemento y el de los forrajes (Broster y Swan, 1979). También ésta puede depender de la disponibilidad del forraje, propiedades físicas y químicas del concentrado y etapa de lactancia de la vaca (Kellaway y Porta, 1993). Mientras menor sea la calidad del forraje utilizado, menor será la tasa de sustitución cuando el forraje está disponible *ad libitum* (Broster y Swan, 1979). Se ha propuesto dos hipótesis para explicar

la tasa de sustitución de forraje por AC. En la primera, Dixon y Stockdale (1999) proponen que la tasa de sustitución puede ser influenciada por efectos negativos asociados al funcionamiento ruminal de vacas en pastoreo y suplementadas con concentrados. Estos pueden incluir una reducción en el pH ruminal, una baja tasa de degradación ruminal de los forrajes y una disminución de la digestibilidad aparente de FDN. La segunda hipótesis, propuesta por McGilloway y Mayne (1996) propone que la tasa de sustitución puede estar relacionada a reducciones en el tiempo de pastoreo cuando las vacas reciben AC suplementario. Durante la etapa temprana de lactancia puede observarse una mayor tasa de sustitución debido a que los requisitos nutricionales de las vacas son altos y éstas no pueden consumir suficiente MS forrajera para alcanzar sus necesidades nutricionales (Cowan y colaboradores, 1975; Van Horn, 1984). Una menor tasa de sustitución puede esperarse en etapa avanzada de lactancia, debido a que la producción de leche disminuye y la capacidad de consumir MS aumenta, por lo tanto la satisfacción de los requerimientos nutricionales puede depender más del forraje (Cancel, 2002).

Bargo y colaboradores (2002a) utilizaron 20 vacas de la raza Holstein en pastoreo para estudiar el efecto de la suplementación con concentrado. Los cuatro tratamientos resultaron de la combinación de dos niveles de forraje disponible (Baja, 25 vs. Alta, 40 kg MS/d) y dos niveles de suplementación con concentrado (0 vs. 1 kg de concentrado/4 kg de leche). La suplementación con concentrado disminuyó el consumo de MS forrajera a ambos niveles de forraje disponible, pero la disminución fue mayor a alta que a baja disponibilidad (4.4 vs. 2.0 kg MS/d). Esto nos indica que la tasa de sustitución es mayor cuando la oferta de forraje disponible para pastoreo es mayor. La tasa de sustitución fue

0.26 y 0.55 kg de MS de pastura/kg de concentrado a bajo y alto niveles de forraje disponible, respectivamente. La suplementación con AC aumentó el consumo de MS total, pero el aumento fue mayor a bajos que a altos niveles de forraje disponible (5.8 vs. 3.6 kg/d). El consumo total de NE_L siguió el mismo patrón (11.4 vs. 7.7 Mcal/d). El mayor consumo de energía ocurrió como resultado del aumento en el consumo de AC (3.3 vs. 7.3 Mcal/d para bajo vs. alto nivel de forraje disponible), ya que el consumo de NE_L procedente de la pastura disminuyó con la suplementación. Esta aumentó la producción de leche, pero el aumento fue mayor a bajos que a altos niveles de forraje disponible (10.6 vs. 7.7 kg/d). Las respuestas en producción de leche a la suplementación fueron 0.96 y 1.36 kg de leche/kg de AC ofrecido. Esto es indicativo de la importancia de la suplementación con AC para promover la producción de leche. Robaina y colaboradores (1998) observaron una baja tasa de sustitución cuando vacas pastoreaban en predios con poco forraje disponible.

Kellaway y Porta (1993) suplementaron vacas bajas productoras en pastoreo con AC y encontraron una producción de 0.6 kg de leche por kg de AC ofrecido. Stockdale (1999) informó que la producción de leche en respuesta a la suplementación con AC aumentó al disminuir el contenido de energía metabolizable (EM) de la pastura. Reis y Comb (2002b) reportaron respuestas de 1.00 y 0.86 kg de leche/kg de AC cuando las vacas pastoreaban predios de alfalfa y fueron suplementadas con 5 y 10 Kg/d de AC. Puede concluirse que la suplementación con AC tiende a disminuir el consumo de MS de los forrajes pero aumenta la producción de leche.

El consumo excesivo de AC resulta en mayores riesgos de acidosis y pérdida de apetito, sin mejorar el consumo de energía ni la producción de leche (Lamb y

colaboradores, 1976). Por otra parte el exceso de energía consumida es preferentemente depositada como grasa corporal en vez de ser utilizada para la producción de leche (Van Soest, 1975). Por estas razones es importante la inclusión de suficiente forraje para cubrir los requisitos mínimos de fibra (25 - 35% FDN) en las dietas de las vacas lecheras.

Caro Costas y colaboradores (1972) estudiaron el efecto de cuatro niveles de suplementación con AC sobre la producción de leche con 48 vacas Holstein que pacían predios de gramíneas abonados con 1,820 kg de abono 15-5-10/ha anualmente a una módica carga animal (2.5 vacas/ha). Los cuatro niveles de suplementación evaluados fueron: 1 kg de AC (20 % PC) por cada 2, 4, 6 y 8 litros de leche producidos diariamente. Los tres primeros tratamientos no difirieron en la producción total de leche ni la duración de la lactancia. Las vacas alimentadas con estas dietas produjeron en promedio de 4,757 litros de leche durante una lactancia de 279 días equivalentes a 17 litros diarios. Sin embargo, al reducir el nivel de suplementación a 1 kg de AC por cada 8 litros de leche producida, se redujo marcadamente la producción a 3,385 litros durante una lactancia más corta de 242 días. La curva de lactancia, aun la de las vacas altas productoras, no se afectó por los tres niveles de suplementación mayores. Las vacas que recibieron 1 kg de AC por cada 4, 6 y 8 litros de leche, aumentaron en promedio .35 kg diario de peso vivo durante el periodo de lactancia, mientras que las que recibieron 1 kg / 2 litros de leche, aumentaron .55 kg. Esto demuestra que el mayor nivel de suplementación proveyó más nutrientes que los necesarios para maximizar la producción de leche y por ende la eficiencia de utilización de AC para lactar fue más baja.

Ingvarsen y colaboradores (2001) compararon 3 sistemas de alimentación durante la etapa temprana de lactancia. Los tratamientos experimentales fueron: forraje

ad libitum con concentrado a razón de 0.3 ó 0.5 kg de AC/kg de leche hasta un máximo de 10.2 kg/d. Se observó un mayor rendimiento lechero y consumo de MS durante las primeras 4 semanas de lactancia por las vacas alimentadas con AC y forraje en forma de TMR comparadas con aquellas alimentadas con AC y forrajes por separado.

Campling y colaboradores (1966) llevaron a cabo siete experimentos para examinar los efectos de ofrecer cantidades restringidas de AC sobre el consumo voluntario de forrajes en vacas lecheras no lactantes. La adición de 6 kg de concentrado diariamente a la dieta de vacas recibiendo forrajes *ad libitum* solo causó pequeños cambios en el consumo voluntario del forraje. Cuando se ofrecieron mayores cantidades de AC (8.0 kg/d) se redujo el consumo de forrajes por cerca de 0.3 kg de MS / kg de AC ofrecido. La tasa de sustitución fue mayor según la digestibilidad del forraje disminuía. La disminución en consumo de forrajes pudo haberse debido a una menguada actividad celulolítica de los microorganismos del rumen y a una menor tasa de desaparición del rumen de la digesta.

Bargo y colaboradores (2002b) utilizaron 45 vacas Holstein de temprana a media etapa de lactancia para comparar tres sistemas de alimentación, combinando pasturas y TMR. Los tratamientos utilizados fueron: 1) pastura, más alimento concentrado (PAC), 2) pastura, más TMR (pTMR), y 3) TMR (sin pastura). La dieta PAC consistió de 60% pastura y 40% concentrado; la del pTMR fue 30% pastura, 61% TMR y 9% concentrado; y la del otro sistema 100% TMR. Comparado con el tratamiento PAC, el consumo de MS fue 3.6 y 5.1 kg/d mayor para pTMR y TMR, respectivamente. El consumo total de MS de la dieta PAC (21.6 kg/d), fue similar al resultado reportado por Buckley y colaboradores (2000). Se encontró que vacas lecheras de mérito genético alto consumen

más MS que las de mérito genético mediano cuando se alimentan bajo este sistema (20.9 vs. 19.3 kg/d). La producción de leche fue mayor para el sistema TMR (38.1 kg/d) que para los otros dos; PAC (28.5 kg/d) y pTMR (32.0 kg/d). Las vacas en el tratamiento TMR produjeron 19 % más leche (6.1 kg/d) que las del pTMR, y 33 % más (9.6 kg/d) que las del PAC. La combinación de pastura con TMR (pTMR) resultó en un 13 % mayor producción de leche (3.5 kg/d) que el sistema PAC.

Kolver y colaboradores (2000) reportaron que vacas Holstein Friesian produjeron significativamente más leche con una alimentación basada en 100% TMR que con otra basada solo en pasturas sin AC (22.6 vs. 14.9 kg/d). Estas diferencias en producción desfavorables para la dieta sin AC se deben en parte a mayores requerimientos de energía para mantenimiento relacionados a actividades como rumiar y caminar por los predios, además que a diferencias en el consumo de energía. El mayor gasto de energía relacionado con la ingestión de los forrajes es atribuido al esfuerzo físico ingestivo y al movimiento requerido para la selección de los mismos (Agnew y colaboradores, 2000).

La reducción en cantidad de leche producida con una alimentación que utiliza mucho forraje depende del estado de lactancia, época del año y calidad de la pastura. Posibles factores que contribuyen a dicha disminución incluyen un cambio en las poblaciones microbianas del rumen, un desbalance nutricional durante el periodo de transición y un aumento en los requerimientos de energía para mantenimiento (Bargo y colaboradores, 2002b). Kolver y colaboradores (1998) reportaron una producción de leche mucho menor (29.6 vs. 44.1 kg/d) por vacas que consumieron solo pasturas de calidad comparada con la de vacas que consumieron un TMR balanceado. Esto se debió en gran medida a un menor consumo de MS (19.0 vs. 23.4 kg/d) y de energía. Los

resultados de este estudio indican que las vacas altas productoras en pastoreo necesitan energía suplementaria para alcanzar su potencial genético para la producción de leche. Algunos estudios (Bargo y colaboradores, 2002a; Reis y Combs, 2000a, 2000b) realizados con vacas lactantes bajo pastoreo han señalado que una suplementación con 8 a 9 kg/d de AC aumenta el consumo total de MS en aproximadamente un 16.7 % y permite una producción de leche por encima de lo obtenido con un sistema de pastoreo solamente. Muchos productores de leche en los Estados Unidos evitan la utilización de pasturas debido a que la producción por vaca es menor que bajo un sistema de alimentación en confinamiento, con el uso de AC como la principal fuente alimenticia (Kolver y colaboradores, 1998; White y colaboradores, 2002).

El aumentar la proporción de granos en las dietas resulta en mayor digestibilidad, concentración de energía dietética y consumo de MS. Kennedy y colaboradores (2003) utilizaron 48 vacas de mérito alto y 48 de mérito mediano para evaluar el efecto de la suplementación de AC en la producción de leche. Las vacas en etapa temprana de lactancia se suplementaron con 0, 3, y 6 kg/d de AC. En un segundo estudio con vacas en etapa tardía de lactancia se les suplió 0, 2, y 4 kg/d de AC. En ambos casos, se ofreció ensilaje de gramíneas *ad libitum* durante todo el experimento. En etapa temprana de lactancia las vacas de mérito alto tuvieron una mayor producción de leche que las de mérito mediano (35.0 vs. 30.0 kg/d) bajo la dieta de mayor aporte de concentrado. También el consumo de MS del forraje (14.15 vs. 13.03 kg/d) y el de MS total (19.49 vs. 18.33 kg/d) fueron mayores en vacas de mérito alto. Asimismo, en la etapa tardía de lactancia las vacas de mérito alto superaron a las de mérito mediano en producción de leche (25.9 vs. 22.5 kg/d), consumo de MS del forraje (16.0 vs. 15.29 Kg/d) y consumo

de MS total (19.55 vs. 18.73 kg/d). Estos resultados sugieren que la suplementación con concentrado a vacas altas productoras alimentadas mayormente con forrajes resultará en una baja tasa de sustitución (0.4 a 0.6 kg de reducción en el consumo de MS del forraje / kg de aumento en el consumo de MS del concentrado) y una alta respuesta en la producción de leche (> 1.0 kg de leche / kg de MS de concentrado). La alta producción de leche y eficiente utilización de los nutrientes mostradas por las vacas de mérito alto concuerdan con los resultados de estudios previos (Veerkamp y colaboradores, 1994; Buckley y colaboradores, 2000), en los cuales las vacas de mérito alto sobresalieron. Además de una alimentación que garantice la maximización de la producción de leche, el potencial genético del animal juega un papel muy importante. Inversamente, la selección de vacas con un alto potencial genético requiere de una mejor alimentación para la realización de dicho potencial.

C. Caracterización de la fermentación ruminal

Los criterios más importantes para caracterizar la fermentación ruminal incluyen las poblaciones de microorganismos existentes, que a su vez depende del tipo de alimento consumido por el animal. Cuando las vacas se alimentan con forrajes los microorganismos predominantes son aquellos que digieren la fibra (celulosa y hemicelulosa). Los celulolíticos son mayormente bacterias de los géneros *Ruminococcus*, *Fibrobacter* y *Butyrivibrio*. Con dietas altas en granos de cereales predomina el desarrollo de bacterias amilolíticas fermentadoras de carbohidratos no estructurales, las cuales degradan almidón y azúcares para producir AGV (Schwartz y Gilchrist, 1975). Dietas altas en AC promueven un aumento en la proporción de propionato formado en el rumen, el cual es convertido a glucosa y utilizado para la síntesis de leche y tejido corporal. Normalmente las vacas lecheras de producción módica no necesitan de fuentes de proteínas de alta calidad en la dieta ya que las bacterias ruminales tienen la capacidad de sintetizar proteína suficiente para cubrir la mayor parte de los requerimientos del animal hospedero.

Nitrógeno no proteico (NNP) dietético es utilizado para la síntesis de aminoácidos y proteínas por los rumiantes. El NNP es degradado por las bacterias y protozoarios ruminales para producir amoníaco. Este último es utilizado por los microorganismos para la síntesis de proteína microbiana que posteriormente será utilizada por el animal. Una dieta alta en AC, a diferencia de otra alta en forrajes, ocasiona cambios en los productos de fermentación ruminal (Church y colaboradores, 2002). Las proporciones de AGV ruminales varían de acuerdo al tipo de dieta ofrecida. Con dietas altas en AC, la razón de

ácidos acético:propiónico (A:P) se reduce y con dietas basadas en forrajes ocurre lo inverso (Sutton y colaboradores, 1988). El AC contiene carbohidratos que son digeridos rápidamente y un alto consumo del mismo ocasiona que las bacterias ruminales produzcan grandes cantidades de ácido láctico. Esto causa una disminución en el pH ruminal, provocando problemas como la acidosis, laminitis, y disminución en consumo (Nocek, 1997). La disminución del pH en el rumen ocurre por causa de proporciones inadecuadas de fibra a carbohidratos de rápida degradación no estructurales en la dieta. Esto resulta de un aumento en el consumo de AC y a una reducción en el consumo de fibra.

La fibra dietética es necesaria para estimular las contracciones de la pared ruminal y mantener los ciclos de mezcla en el rumen. Proporciones dietéticas altas de AC ($\geq 70\%$) propician la inhibición de las bacterias celulolíticas en el rumen, causan una reducción en el pH y pueden causar parálisis ruminal, el cual reduce la tasa de evacuación del rumen y afecta adversamente el apetito (Campling y Murdoch, 1966). Para mantener el pH ruminal normal debe proveerse una proporción de fibra dietética adecuada para cubrir los requisitos mínimos del animal. De esta manera la fibra estimula la rumia y causa un mayor flujo de saliva que actúa como amortiguador del pH ruminal. La fibra en la dieta también es necesaria para mantener un balance adecuado de las poblaciones microbianas (Schwartz y Gilchrist, 1975). Las dietas compuestas mayormente de granos de cereales favorecen el crecimiento de bacterias productoras de ácido láctico y causan una disminución en el pH ruminal, disminuyendo la digestibilidad de la fibra (Mouriño y colaboradores, 2001).

D. Importancia de la energía en la etapa temprana de lactancia

La energía es el factor más limitante en la dieta de vacas altas productoras en etapa temprana de lactancia, más aun aquellas alimentadas con forrajes de baja calidad (Kolver y colaboradores, 1998). Durante esta etapa las demandas de energía son mayores, debido a los altos requisitos nutricionales que tienen las vacas lecheras para maximizar su producción de leche (Rabelo y colaboradores, 2003). Cuando las demandas de energía necesarias no son provistas por el alimento consumido, las vacas lecheras entran en balance energético negativo y el rendimiento lechero es afectado. El balance energético negativo es un fenómeno fisiológico en vacas altas productoras, principalmente en etapa temprana de lactancia (Goff y Horst, 1997). Si el balance negativo es severo puede producir una pérdida sustancial en la condición corporal de la vaca, cetosis subclínica, alta susceptibilidad a enfermedades, disminución en la producción de leche y problemas de reproducción durante la lactancia (Heuer y colaboradores, 1999; Senatore y colaboradores, 1996).

Para minimizar el tiempo en que las vacas permanecen en un balance energético negativo la alimentación durante el periodo horro debe reunir una concentración óptima de nutrientes y energía, un suministro adecuado de agua y un manejo encaminado a lograr un máximo consumo de MS por la vaca postparto. De esta manera se minimizará los trastornos metabólicos. El monitoreo del balance energético luego del parto facilita el manejo alimentario y reduce el riesgo de efectos negativos relacionados con la salud de la vaca y su producción y fertilidad. Belyea y Adams (1990) llevaron a cabo dos experimentos utilizando 6 vacas altas productoras y 6 bajas productoras para evaluar su habilidad para metabolizar energía y N. Ambos grupos de vacas se encontraban entre la

segunda y cuarta semana postparto y se alimentaron con la misma dieta, que consistía de ensilaje de maíz, heno de alfalfa y AC (maíz, harina de soya y minerales). Las vacas altas productoras consumieron más alimento (17.8 vs. 15.3 kg/d) y produjeron más leche (33.5 vs. 28.0 kg/d) que las bajas productoras. Para mantener una mayor producción de leche, las vacas altas productoras consumieron más energía (81.1 vs. 69.3 Mcal/d), mantuvieron un balance energético mayor (+ 2.8 vs. -0.9 Mcal/d) y movilizaron menos grasa corporal que las bajas productoras. No existieron diferencias significativas en la habilidad de los dos grupos para digerir y metabolizar energía y N. Esto es evidencia de la importancia de la aportación de energía dietética y la utilización de ésta para promover el desempeño animal. Además sugiere que las vacas altas productoras son más eficientes en utilizar energía metabolizable (EM) para la lactación, ya que la proporción de requisitos de mantenimiento/requisitos totales es menor, permitiendo un mayor uso de EM para la producción de leche (Belyea y Adams, 1990). Grainger y colaboradores (1985) evaluaron vacas en pastoreo clasificadas como altas y bajas en mérito genético. Las altas produjeron más leche y dirigieron proporcionalmente más energía a la síntesis de leche que las bajas en mérito genético.

Rabelo y colaboradores (2003) utilizaron 40 vacas y 20 novillas para estudiar el efecto de la densidad energética de la dieta durante la etapa tardía y temprana de la lactancia sobre el desempeño lechero y las características ruminales. Durante 28 días de etapa pre-parto los animales se alimentaron con una dieta baja en energía (1.58 Mcal de NE_L/kg) u otra alta en energía (1.70 Mcal de NE_L/kg). Después del parto la mitad de las vacas de cada grupo fueron asignadas a una dieta baja en energía (1.57 Mcal de NE_L/kg) o a otra alta en energía (1.63 Mcal de NE_L/kg) hasta 20 días postparto. Todas las vacas

alimentadas con la dieta alta en energía luego del parto tuvieron mayores consumos de MS (13.0 vs. 11.3 kg/d), de energía (21.5 vs. 17.7 Mcal/d) y mayor producción de leche (36.5 vs. 39.5 kg/d) que las vacas que recibieron la otra dieta.

Intensificar la suplementación con AC inmediatamente luego del parto en vez de aumentarlo 21 días después resultó en mayor producción de leche y consumo de MS (Rabelo y colaboradores, 2003). De igual forma, aumentar la concentración de energía de la dieta antes del parto conlleva una mayor producción de leche y consumo de MS, mientras aumentar el contenido de FDN antes del parto (dieta alta en fibra) está asociado a una disminución en consumo de MS (Keady y colaboradores, 2001). Las dietas bajas en fibra ofrecidas postparto promueven alta digestibilidad ruminal de la MS permitiendo una rápida evacuación de la digesta en este órgano y consecuentemente un mayor consumo de MS. Algunos estudios han señalado que la alimentación con una dieta alta en energía en el periodo preparto tardío no altera el desempeño ni rendimiento subsiguiente del animal (Holcomb y colaboradores, 2001; Keady y colaboradores, 2001). Otros estudios han demostrado que restringir la alimentación durante las últimas 4 semanas de gestación afecta el rendimiento lechero en las primeras semanas de lactancia (Kunz y colaboradores, 1985; Douglas y colaboradores, 1998; Holcomb y colaboradores, 2001). Hernández-Urdaneta y colaboradores (1976) observaron un mayor consumo de MS durante las primeras 4 semanas de lactancia por vacas que consumieron una dieta alta en energía con una relación F:C de 60:40 que por otras alimentadas con una dieta 40:60.

E. Importancia de los electrolitos en la dieta de la vaca lechera

Los minerales suplidos en las dietas de rumiantes son necesarios como componentes estructurales en el cuerpo y para procesos metabólicos como sistemas enzimáticos, mantenimiento de la presión osmótica de los fluidos extra e intracelulares y el balance ácido-básico (NRC, 2001). Estos procesos metabólicos influyen en el consumo de alimentos y la producción animal (Church y colaboradores, 2002). Los minerales se clasifican en macro y micro por la cuantía de sus requerimientos.

El sodio (Na) es un macromineral con efectos importantes sobre el consumo y la producción de leche. Los signos principales de deficiencia de Na son reducción en la tasa de crecimiento y en la eficiencia de utilización del alimento para el crecimiento, menguada producción de leche en vacas lactantes y pérdida de peso en animales adultos (Church y colaboradores, 2002). La vaca lechera utiliza el Na de la dieta eficientemente, pero solo almacena pequeñas cantidades en una forma disponible para los procesos metabólicos (NRC, 2001). Cuando se provee Na dietético en exceso del requerimiento del animal ocurre un aumento en la excreción del mismo. Church y colaboradores (2002) estudiaron la deficiencia de Na en vacas lecheras en producción. Esta deficiencia no causó cambios en las concentraciones en la leche ni de Na ni de los otros elementos K y Cl. La excreción urinaria de Na disminuyó a casi cero luego de un mes y el apetito y la producción de leche disminuyeron. Los animales privados de Na muestran un gran apetito por este mineral y se ha observado que llegan incluso a ingerir orina para satisfacer su apetito. Valk y Kogut (1998) llevaron a cabo un estudio utilizando 64 vacas lecheras para determinar los efectos de dos diferentes concentraciones de sal común (NaCl) en la dieta (0, LS y 0.8%, HS) sobre el consumo voluntario y producción de leche.

Todas las dietas se ofrecieron en forma de TMR con una relación F:C de 60:40. La adición de sal resultó en contenidos de Na en la MS dietética de 1.0 y 1.7 g/kg para LS y HS, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre LS y HS en la producción de leche (32.5 vs. 32.7 kg/d), concentración de grasa láctea (4.34 vs. 4.35 %) y de proteína láctea (3.43 vs. 3.36 %), respectivamente. Sin embargo, en consumo de MS, HS mostró una tendencia a ser mayor (22.3 vs. 23.1 kg/d). Los alimentos comunmente utilizados en las dietas de vacas lecheras no contienen suficiente Na para cubrir los requisitos nutricionales (NRC, 2001). Mallonee y colaboradores (1982) encontraron que cuando proveyeron a vacas lecheras una dieta sin suplementar NaCl el consumo de MS y la producción de leche comenzaron a disminuir.

Otro factor importante a considerar en las dietas de los rumiantes es el balance entre los macrominerales, cationes y aniones (CAD). El CAD se define como la diferencia de la concentración de cationes (cargas positivas, K y Na) menos la de aniones (carga negativa, Cl) en la dieta (NRC, 2001). Se expresa en unidades de miliequivalentes (meq) y se calcula por la fórmula $(Na + K - Cl) / 100g$ MS dieta. Los elementos Na, K y Cl funcionan juntos para mantener el balance de los fluidos corporales, regulación osmótica y balance acido-base, interrelacionándose entre sí. Tucker y colaboradores (1988) compararon dietas formuladas para proveer valores de CAD de -10, 0, + 10, y + 20. La dieta con CAD de + 20 resultó en aumentos en el consumo de MS de 11 % y en la producción de leche de 9 %, comparado con la dieta con CAD de -10. Estos resultados sugieren que una CAD dietética positiva es preferible a otra negativa para favorecer el desempeño de la vaca lechera a través de toda la lactancia.

West y colaboradores (1990) evaluaron dietas para vacas lecheras con valores de CAD de + 2.5, + 15, + 27.5 y + 40. El consumo de MS y la producción de leche mejoraron al aumentar el CAD desde + 2.5 hasta + 27.5, pero no así con el incremento en el CAD hasta + 40. Sánchez y colaboradores (1990) compararon 15 tratamientos dietéticos con valores de CAD entre + 12 y + 62. La dieta con el menor CAD desmejoró el desempeño animal. Las dietas con CAD sobre + 20 tuvieron poco efecto en el consumo de MS, sin embargo la producción de leche mejoró en un 8 % entre CAD + 12 y + 37.5. No hubo una mejoría adicional en el desempeño animal al subir el CAD por encima de + 37.5. Varios investigadores (Tucker y colaboradores, 1988; West y colaboradores, 1990 y Sánchez y colaboradores, 1990) han concluido que el consumo de MS y la producción de leche disminuyen cuando se alimentan las vacas lecheras con dietas de CAD menores a + 20.

Capítulo II.

Investigación de Tesis

INTRODUCCIÓN

En Puerto Rico la alimentación de las vacas lecheras es el factor más importante y determinante en la producción de leche. Una ración bien formulada, completa y equilibrada, garantiza el estado de salud de las vacas y aumenta el consumo voluntario de MS y la producción de leche. Para lograr estos objetivos, forrajes y concentrados de alta calidad deben constituir las dietas, de manera tal que cumplan con los requisitos nutricionales del animal. Las demandas de energía de la vaca lechera para maximizar su producción de leche son mayores en etapa temprana de lactancia.

Los forrajes de alta calidad propician un alto consumo, son de alta digestibilidad, contribuyen a un ambiente intraruminal saludable y contienen un balance adecuado de nutrientes (Ball y colaboradores, 2002). El HA es un forraje que reúne estas características. Por su alta digestibilidad y contenido proteico, la alfalfa supera en calidad a las gramíneas. En estudios realizados por Beauchemin, (1991); Zimmerman y colaboradores, (1991); Alhadhrami y Huber, (1992) se observó un aumento en el consumo de MS y producción de leche por vacas alimentadas con HA.

El uso de AC propicia un mayor consumo de MS, energía y proteína necesarias para una mayor producción de leche. Los alimentos de alta calidad son indispensables también para reducir la incidencia de trastornos metabólicos. La rentabilidad de las fincas ganaderas depende de ellos. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la

calidad del forraje y tipo de concentrado sobre el consumo voluntario y producción de leche en vacas lecheras en etapa temprana de lactancia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en las facilidades de la vaquería experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas localizada en la Estación Experimental Agrícola de Lajas. El mismo se llevó a cabo del 11 de marzo al 26 de mayo de 2004. Durante este periodo, la temperatura ambiental fluctuó entre 19 °C a 31 °C y la precipitación pluvial fue de 15.7 cm totales. Para el experimento se seleccionaron ocho vacas en etapa temprana de lactancia (promedio 65 d postparto) de las cuales seis eran de la raza Holstein y dos cruzadas (Holstein x Pardo Suizo). Los cuatro tratamientos experimentales evaluados consistieron en dos forrajes, HA importado y heno comercial local de hierba pangola (HP), y dos concentrados, uno formulado por el investigador para un nivel intermedio de energía (CF) y un alimento comercial alto en energía (CC), en un arreglo factorial 2 x 2. Las vacas se asignaron a los tratamientos de acuerdo a un diseño de cuadrado latino 4 x 4, repetido dos veces. Los periodos experimentales tuvieron una duración de 19 d, 14 d de adaptación y 5 d de toma de datos experimentales. El AC se ofreció a razón de 1 kg por cada 2.5 kg de leche producida, mientras el heno se ofreció para permitir consumo *ad libitum*.

Las vacas se mantuvieron en corrales individuales con piso de hormigón y un área techada con plancha de zinc, donde se ubicó un comedero para heno y AC y un bebedero automático. El heno fue provisto diariamente por la mañana según fuera necesario para asegurar consumo a voluntad. El comedero siempre se mantuvo bien abastecido de heno. El AC fue ofrecido mañana y tarde (6:30 y 16:00 h) ajustando la cantidad ofrecida basado en la producción de leche de los tres días previos. Se permitió el acceso de los animales a

un área de tierra sin pavimentar por dos horas diarias después del ordeño de la mañana. Las vacas experimentales se ordeñaron dos veces al día, a las 03:00 y 14:30 h. Se determinó la leche producida por cada vaca diariamente utilizando pesadores de leche calibrados (DHIA). Se tomaron muestras de leche por cuatro ordeños consecutivos al finalizar cada periodo experimental. Estas se enviaron al laboratorio del DHIA en Dorado, P.R. para el análisis de proteína y grasa láctea. El peso vivo de los animales se estimó por dos días consecutivos, el último día de cada periodo y el primer día del siguiente periodo utilizando una cinta calibrada (Vea Cuadro 2 del Apéndice). Durante cada periodo experimental se tomaron 3 muestras de los diferentes henos y concentrados y se obtuvo una muestra compuesta de cada uno que se guardó bajo refrigeración hasta su posterior procesamiento y análisis. Las muestras compuestas se secaron en un horno de aire forzado a 65°C por 48 horas y se molieron en un molino Wiley a través de un cedazo de 2 mm de porosidad. Luego se mantuvieron congeladas hasta la determinación de su composición química. Se enviaron muestras secas al Laboratorio Dairy One en Ithaca, NY para el análisis de PC, FDN, FDA, NE_L y minerales. La concentración de materia inorgánica (MI) o cenizas fue determinada por incineración de muestras en un horno mufla a 600°C por 4 horas.

Durante el periodo de toma de datos (últimos cinco días de cada periodo) el consumo de heno se determinó por diferencia. Se pesó todo el heno ofrecido a cada vaca y diariamente por la mañana el heno que se cayó al piso (desperdiciado). Al terminar cada periodo experimental se pesó el heno sobrante en el comedero. El consumo de heno en 5 d fue calculado restando el heno desperdiciado y el heno sobrante del total ofrecido.

El consumo diario de MS de heno se determinó al combinar los datos correspondientes de consumo y contenido de MS.

Para la preparación del CF se utilizó el molino localizado en la Granja Pecuaria de la Facultad de Ciencias Agrícolas en la Estación Experimental Agrícola de Lajas. Este fue formulado para reunir teóricamente 18.03 % de PC y 1.68 Mcal de NE_L/kg (NRC, 2001). La fórmula de CF se presenta en el Cuadro 1 del Apéndice.

En el análisis de los costos de las dietas consumidas se utilizó el costo unitario real de los henos, los ingredientes concentrados y el CC. Se multiplicó el peso promedio por cada paca de heno por el porcentaje de MS para obtener el peso en base seca. Se dividió el costo del HP (.22 \$/kg) y el del HA (.33 \$/kg) por el correspondiente peso promedio por paca en base seca para obtener el precio por kg de MS de heno. En cuanto a los AC, se corrigió el costo del CF y CC por su contenido de humedad para obtener el precio unitario en base seca. Los costos a base seca se multiplicaron por el consumo en cada caso para obtener el costo del forraje, el concentrado y de la dieta total consumida.

Los datos fueron evaluados conforme al diseño experimental en cuestión, utilizando el procedimiento de PROC GLM de SAS para el análisis. Se utilizaron contrastes para determinar los efectos principales del tipo de forraje y de concentrado evaluado. Las diferencias entre los tratamientos individuales se analizaron mediante una prueba de comparaciones múltiples “pdiff” (SAS Inst., 1990).

El modelo experimental fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_{l(j)} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

$$Y_{ijk} = \text{variable dependiente}$$

μ = media general estimada

α_i = efecto de periodos (cuatro niveles)

β_j = efecto de los cuadrados (dos niveles)

γ_k = efecto de los tratamientos (cuatro niveles)

$\delta_{l(j)}$ = efecto de los animales (ocho niveles)

ε_{ijkl} = error experimental

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química del HA, HP y los dos AC utilizados en este experimento se presentan en el Cuadro 1. El HA presentó mayor porcentaje de PC, comparado con el HP (15.6 vs. 3.7 %). Aun así el contenido de PC observado en el HA fue bajo, relativo al valor de 18.7 % encontrado por Alhadhrami y Huber (1992) para HA. De igual forma, el contenido de PC observado en el HP fue más bajo de lo esperado (6-8 %) basado en los resultados de investigaciones anteriores (Randel y Méndez, 1989; Caro-Costas y Vicente-Chandler, 1979b). Estos autores realizaron estudios con heno de gramíneas tropicales (estrella, guinea y pangola) y obtuvieron en promedio un 8.6 % de PC. Evidentemente el HP procedió de forraje cosechado en etapa avanzada de madurez y ésta guarda una relación inversa con el contenido de PC.

Los contenidos de FDN y FDA fueron mayores (68.5 vs. 48.1 % y 46.3 vs. 37.9 %) en el HP que en el HA tal como se esperaba. El contenido de estas dos fracciones fibrosas en el HP fue menor a lo encontrado por Randel y Méndez (1989) para henos de varias gramíneas tropicales (estrella, guinea, bermuda, slender steam y callie) cortadas a los 55 días de maduración, los cuales contenían en promedio 77.7 y 48.9 % de FDN y FDA, respectivamente. Estas diferencias pueden deberse en parte a efectos ambientales como la temperatura y humedad y a la especie de gramínea utilizada, ya que la hierba pangola tiende a reducir su valor nutritivo más lentamente con la madurez que otras gramíneas tropicales (Vicente Chandler y colaboradores, 1983). El valor estimado de nutrientes totales digeribles (NTD) y el del contenido analizado de materia orgánica (MO) fueron similares entre los dos henos. El HA tuvo mayores contenidos de Ca, K, Cl, Cu y Mo, mientras que el HP presentó mayores concentraciones de Na, Fe, Zn y Mn. Los

contenidos de P y Mg fueron similares entre ambos forrajes. El estimado (Dairy One) del valor de energía neta para lactación (NE_L) fue mayor en HA que en HP (1.25 vs. 0.99 Mcal/kg).

Cuadro 1. Composición química del heno de pangola (HP), heno de alfalfa (HA), concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF) utilizado para alimentar vacas en etapa temprana de lactancia.

Composición Química %	Concentrados		Henos	
	CC	CF	HA	HP
PC	18.50	16.10	15.60	3.70
MO	91.45	91.89	91.07	90.96
FDA	10.90	10.50	37.90	46.30
FDN	12.50	12.50	48.10	68.50
NTD	79.80	79.0	57.0	56.0
NE _L Mcal/kg	1.88	1.86	1.25	0.99
NFC	--	--	27.60	20.90
Macro Minerales %				
Ca	1.87	1.32	1.58	0.29
P	0.81	0.76	0.24	0.23
Mg	0.42	0.28	0.25	0.20
K	1.22	1.06	2.52	0.76
Na	0.11	0.30	0.07	0.20
Cl	0.39	0.73	0.69	0.42
Micro Minerales (ppm)				
Fe	293	406	209	1132
Zn	92	44	19	31
Cu	31	11	9	6
Mn	135	58	24	56
Mo	3	3	2	0.5

Los CC y CF presentaron un porcentaje de PC de 18.5 y 16.1 %, respectivamente. Los contenidos de MO, FDA y FDN fueron similares entre ambos. Aún cuando el CC fue descrito como de alta energía, los estimados de NE_L y NTD fueron similares entre ambos concentrados. El CC no mostró su respectivo alto nivel de energía. Este presentó mayores contenidos de Ca, Mg, K, Zn, Cu y Mn que CF, mientras al contrario en los casos de Na,

Cl y Fe. El contenido de los minerales P y Mo fueron similares entre ambos concentrados. El CC mostró un nivel bajo de Na (0.11 %), el cual es menor al mínimo teórico requerido (0.15 %, NRC 2001) para una dieta de vacas en lactancia temprana.

La composición química de la dieta total consumida bajo los cuatro tratamientos se presenta en el Cuadro 2. La composición dietética fue similar cuando los animales consumieron dietas que variaban solamente en el tipo de concentrado ofrecido, excepto por el contenido de Na que fue menor en las dietas que utilizaron el CC. Este mineral fue deficiente en la dieta de HA y CC.

Cuadro 2. Composición química a base seca de la dieta consumida por vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).

Composición Química	Dietas			
	Pangola		Alfalfa	
	CC	CF	CC	CF
	% de la MS			
PC	11.48	10.12	17.08	15.82
MO	91.22	91.44	91.27	91.47
FDA	27.66	27.79	23.63	24.37
FDN	38.98	39.56	29.27	30.53
NTD	68.52	67.88	69.04	67.86
NE _L Mcal/kg	1.45	1.43	1.58	1.54
Ca	1.12	0.82	1.73	1.45
P	0.53	0.51	0.54	0.50
K	1.00	0.91	1.83	1.79
Mg	0.31	0.24	0.34	0.26
Na	0.15	0.25	0.09	0.18
Cl	0.40	0.58	0.53	0.71
CAD*	20.72	17.82	35.71	33.85

*Diferencia cationes – aniones

Calculada como: $[\text{meq} (\text{Na} + \text{K} - \text{Cl}) / 100 \text{ g MS dieta}]$

Las dos dietas con HA superaron (10.80 vs. 16.45 %) a las de HP en concentración de PC (Cuadro 2). El nivel de PC en las dietas con HP fue menor que lo

esperado, debido a la baja concentración de PC en el heno utilizado. Los contenidos de FDN (39.27 vs. 29.90 %) y FDA (27.73 vs. 24.0 %) fueron menores para las dietas con HA. Aún cuando la concentración de MO y NTD fueron similares para las dietas evaluadas, el contenido estimado de NE_L de la dieta consumida fue mayor en las dietas con HA (1.56 vs. 1.44 Mcal/kg).

En la MS total consumida, la concentración de Ca (1.59 vs. 0.971 %), K (1.81 vs. 0.954 %) y Cl (0.681 vs. 0.491 %) fueron mayores en dietas con HA, mientras que la de Na (0.200 vs. 0.135 %) fue mayor con HP. Sin embargo, solo la dieta formulada con CC y HA mostró un nivel deficiente de Na. Las concentraciones de P (0.519 %) y Mg (0.298 % con HA vs. 0.276 % con HP) fueron similares entre dietas con ambos henos. El valor de CAD de las dietas consumidas fue mayor (34.78 vs. 19.27) con HA que con HP.

Cuadro 3. Consumo de materia seca de vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).

Consumo % PV	Dietas				ES	P<*
	Pangola		Alfalfa			
	CC	CF	CC	CF		
Heno	1.51	1.66	1.73	1.98	0.110	0.0592
MS total	3.20	3.40	3.67	3.87	0.001	0.0028
MO total	3.11	3.32	3.56	3.77	0.001	0.0020
FDN	1.24	1.32	1.13	1.18	0.041	0.0271
Consumo kg/d						
Heno	7.84	8.55	9.03	10.3	0.552	0.0380
Concentrado	8.68	8.95	10.0	9.98	0.258	0.0029
MS total	16.50	17.50	19.10	20.30	0.578	0.0016
MO total	16.10	17.10	18.50	19.70	0.539	0.0013
FDN	6.43	6.77	5.85	6.20	0.204	0.0384
F:C	47.5:52.5	48.9:51.1	47.3:52.7	51.0:49.0	0.017	0.4859

* Las diferencias entre tratamientos fueron analizadas mediante contrastes

Las dietas con HA resultaron en un mayor consumo que las con HP (Cuadro 3). El consumo de MO total como porcentaje del peso vivo (CMOTPV) fue de 3.22 y 3.67 % para las dietas con HP y HA respectivamente. De igual forma el consumo de MS total como porcentaje del peso vivo (CMSTPV) (3.30 vs. 3.77 %) fue mayor en dietas con HA. La significancia de los contrastes HP vs. HA y CC vs. CF se presenta en el Cuadro 3 del Apéndice.

El consumo de heno como porcentaje del peso vivo (CHPV) mostró una tendencia a ser mayor ($P < .06$) para las dietas con HA (1.59 vs. 1.86 %). Sin embargo, el consumo de FDN como porcentaje del peso vivo (CFDNPV) fue mayor ($P < .05$) para dietas con HP (1.28 y 1.16 %). Referente al efecto de los AC sobre el consumo de forrajes, el CHPV mostró una tendencia a ser mayor ($P < .09$) para las dietas con CF (1.62 vs. 1.82 %). Posiblemente la reducción observada en consumo de heno en las dietas de CC se debe a niveles bajos de Na que fueron deficientes en la dieta con HA. Valk y Kogut (1998) utilizaron 64 vacas lecheras para estudiar los efectos de dos niveles de adición de NaCl (0 y 0.8 %) a la dieta con contenido total de Na de 1.0 (LS) y 1.7 (HS) g / kg de MS, respectivamente sobre el consumo voluntario de dietas en forma de TMR con una relación F:C de 60:40. El consumo de MS mostró una tendencia a ser mayor (22.3 vs. 23.1 kg/d) en dietas con HS que en dietas con LS.

Los criterios de CMOTPV (3.34 vs. 3.55 %) y CMSTPV (3.44 vs. 3.64 %) mostraron una tendencia a ser mayor ($P < .09$) para las dietas con CF que con CC. No hubo diferencias significativas ($P > .05$) en el CFDNPV debido al tipo de concentrado utilizado. La interacción forraje por concentrado no fue significativa para ninguna variable analizada en este estudio.

El consumo absoluto de heno fue mayor ($P < .05$) para dietas con HA (8.20 y 9.67 kg/d), por el contrario el consumo de FDN fue mayor ($P < .05$) para dietas con HP (6.60 y 6.03 kg/d), como resultado del mayor contenido de fracciones de pared celular en el HP. En promedio, el consumo de MS total por vaca entre las que recibieron las dietas con HA y HP fue de 19.7 y 17.0 kg/d, respectivamente, mientras el consumo de MO total fue de 19.1 y 16.6 kg/d ($P < .01$). El consumo de concentrado fue mayor ($P < .01$) cuando los animales recibieron dietas con HA (8.82 y 10.0 kg/d). La proporción de F:C no fue diferente, con promedios de 48.2:51.8 y 49.2:50.8, para las dietas con HP y HA, respectivamente. Al recibir los tratamientos con HA las vacas consumieron 1.47 kg/d más de heno y 1.18 kg/d más de concentrado por día que con los de HP.

Beauchemin (1991) y Alhadhrami y Huber (1992) observaron consumos de MS y de FDN cercanos a los del estudio presente. Beauchemin utilizó 6 vacas Holstein fistuladas de 80 días postparto para comparar dietas en forma de TMR con distintas concentraciones de FDN (31, 34 y 37 %) con heno de alfalfa como forraje, para evaluar el efecto del FDN sobre el consumo de MS. La creciente concentración de FDN en la dieta no afectó el consumo de MS (22.4, 22.3 y 22.0 kg/d), pero aumentó el consumo de FDN (7.1, 7.7 y 8.1 kg/d, respectivamente). Alhadhrami y Huber utilizaron 40 vacas Holstein con entre 75 y 105 días de lactancia, a las cuales suministraron *ad libitum* dietas con diferentes concentraciones de FDA: 26, 28, 32, y 38%. Incluyeron HA en un TMR en proporciones de 50:50 ó 35:65 (F:C). El consumo de MS absoluto o expresado como CMSTPV no fue afectado significativamente según aumentaba el contenido de FDA en la dieta ni tuvo un efecto la proporción de F:C.

La alimentación incluyendo HA resultó en una mayor producción de leche ($P < .01$) al compararse con las dietas basadas en HP (25.7 vs. 21.0 kg/d) (Cuadro 4). Esto significa una ventaja de 4.8 kg/d a favor de las dietas basadas en HA. No hubo diferencias significativas ($P > .10$) en la producción de leche debido al tipo de concentrado utilizado.

Cuadro 4. Producción y composición de la leche de vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).

	Dietas				ES	P < *
	Pangola		Alfalfa			
	CC	CF	CC	CF		
Leche, kg/día	20.80	21.10	25.30	26.10	0.619	< .0001
Grasa leche, %	3.75	3.82	2.76	2.96	0.187	0.0529
Proteína leche, %	2.43	2.50	2.58	2.60	0.043	0.2040

West y colaboradores (1997) obtuvieron resultados análogos a los presentes, en términos de producción de leche y consumo voluntario de MS. Estos investigadores utilizaron 40 vacas lecheras en etapa temprana de lactancia para determinar los efectos de variar el nivel de inclusión (0, 15 y 30 %) de forraje en forma de HA o heno de una gramínea tropical (hierba bermuda), sobre el consumo de MS y producción de leche. Los tratamientos fueron: T1 (dieta sin heno), T2 (dieta baja en heno de gramínea), T3 (dieta alta en heno de gramínea), T4 (dieta baja en HA) y T5 (dieta alta en HA). El consumo de MS fue mayor para dietas con alfalfa que con bermuda (21.2 vs. 19.2 kg/d). Esto bien podría atribuirse al alto contenido de FDN (80.7%) del heno de bermuda. La producción de leche (28.2 vs. 26.8 kg/d) también fue mayor en vacas alimentadas con HA relativo al heno de gramínea.

En el estudio presente las dietas consumidas basadas en HP presentaron un contenido de PC muy inferior (10.80 vs. 16.45 %) al de las dietas con HA (Cuadro 2). Esta diferencia en contenido proteico pudo haber influido en la producción de leche.

Zimmerman y colaboradores (1991) utilizaron 32 vacas recién paridas de la raza Holstein para examinar los efectos del nivel de proteína y fuente de forraje sobre la producción de leche a diferentes niveles de fibra, alta (23 % FDA) durante 4 semanas (Periodo I) y baja (11.5 % FDA) alrededor del pico de producción (Periodo II). Los tratamientos abarcaron 3 dietas de heno de festuca (*Festuca arundinacea*) o “orchardgrass” (*Dactylis glomerata L.*) a diferentes niveles de proteína, 14 % (bajo), 18 % (mediano) y 22 % (alto), y una dieta utilizando HA con 22 % de PC. Al nivel alto de fibra dietética en el Periodo I la producción de leche fue mayor con las dietas de festuca altas y medianas en proteína (25.9 y 26.0 Kg/d) que con la dieta baja en proteína (22.5 Kg/d), mientras las vacas que recibieron alfalfa tuvieron la mayor producción de leche (27.1 Kg/d). También, al nivel bajo de fibra dietética en el Periodo II la producción de leche fue menor (28.0 Kg/d) al nivel bajo de proteína, comparado con los niveles alto y mediano con gramínea (30.4 y 31.8 Kg/d, respectivamente), y la mayor producción de leche correspondió a la dieta de alfalfa (32.0 Kg/d).

Un contenido proteico adecuado en la dieta es necesario para maximizar la producción de leche. Estudios realizados por Jaquette y colaboradores (1986) y Lundquist y colaboradores (1986) han demostrado que las dietas bajas en proteína resultan en una menor producción de leche de vacas altas productoras debido a deficiencias en aminoácidos limitantes requeridos para sintetizar la leche.

Referente a la composición de la leche producida, las dietas basadas en HP resultaron en una tendencia a mayor contenido de grasa ($P < .06$), al compararse con las dietas de HA (3.79 vs. 2.86 %) (Cuadro 4). Esta diferencia puede ser a consecuencia de la mayor concentración de fracciones de pared celular que presentó el HP. Las dietas basadas en HA resultaron en un mayor consumo de AC y una mayor concentración dietética de nutrientes de rápida fermentación ruminal, lo cual pudo haber afectado negativamente la concentración de grasa de la leche. No hubo diferencias en el contenido de proteína láctea debido al tipo de concentrado utilizado ($P > .10$), pero se observaron diferencias numéricas en dicho contenido debido al tipo de forraje; las dietas basadas en HA superaron a las de HP (2.59 vs. 2.47 %).

Cuando las vacas consumieron dietas con HA fueron más eficientes en la utilización del AC para producir leche (Cuadro 5), siendo la ventaja igual a 8 % más leche ($P < .05$) por kg de concentrado. Estos resultados pueden explicarse como reflejo del bajo valor nutritivo del HP.

Cuadro 5. Medidas de eficiencia en el uso de los alimentos para producir leche por vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).

	Dietas				ES	P<*
	Pangola		Alfalfa			
	CC	CF	CC	CF		
Kg leche/Kg concentrado	2.38	2.35	2.50	2.62	0.0553	0.0141
Kg leche/Kg MS total	1.26	1.22	1.33	1.29	0.0375	0.2555
Kg leche/Kg MO total	1.30	1.25	1.37	1.33	0.0379	0.1693

* Las diferencias entre tratamientos fueron analizadas mediante contrastes

Las diferencias observadas en la eficiencia de la utilización de la MS ingerida total para producir leche, entre las dietas con HP y HA (1.24 vs. 1.31 kg de leche/kg de

MS) no fueron significativas ($P > .05$). De igual forma, tampoco hubo diferencias significativas en la utilización de la MO, siendo los promedios para las dietas con HP y HA 1.28 y 1.35 kg de leche/kg de MO, respectivamente.

En promedio, las dietas con HA arrojaron un costo diario de alimentación mayor (\$5.49) que las con HP (\$3.83), lo que se debió más que nada al mayor costo unitario del HA (Cuadro 6). Sin embargo, debido a la mayor producción de leche los ingresos brutos y los ingresos sobre costos de alimentación favorecieron las dietas basadas en HA.

El ingreso sobre los costos de alimento fue de 0.71 dolar/día mayor para las dietas con HA. Estas proporcionaron una mayor densidad de nutrientes al compararlas con las dietas a base de HP. Una alta densidad dietética de nutrientes contribuye a maximizar la producción de leche en etapa temprana de lactancia. En cambio el HP, debido a su baja calidad, hizo una menor aportación nutricional para impulsar la producción.

Cuadro 6. Costos e ingresos sobre costos de alimento de las dietas consumidas por vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).

	Dietas			
	Pangola		Alfalfa	
	CC	CF	CC	CF
Costo de concentrado, \$/día	2.00	2.06	2.30	2.29
Costo de heno, \$/día	1.72	1.88	2.98	3.40
Costo de la ración, \$/día ¹	3.72	3.94	5.28	5.69
Ingreso por leche producida \$/día ²	10.82	10.97	13.16	13.57
Ingreso sobre costos de alimento, \$ ³	7.10	7.03	7.88	7.88

¹ Calculado por la multiplicación del consumo de materia seca por el costo/kg.

² 0.52 \$/kg. por la producción promedio de leche.

³ Calculado por la resta de ingresos de leche menos el costo de la dieta.

CONCLUSIONES

En este estudio el tipo de concentrado incluido en la dieta no afectó significativamente ninguna de las variables dependientes estudiadas, habiendo solo una tendencia a menor consumo de heno, MS y MO totales con el uso de CC. En cambio, se observaron diferencias significativas debido al tipo de forraje ofrecido a favor del HA, el cual tuvo una concentración de PC mucho más alta que la del HP.

En general, el consumo de heno fue menor cuando los animales consumieron dietas con HP, lo cual puede explicarse a base del mayor contenido de fracciones de pared celular y menor contenido de PC del HP. El consumo de AC también fue menor cuando los animales consumieron dietas basadas en HP. La alimentación con HA y AC resultó en una mayor producción de leche que las dietas con HP y AC, siendo esto explicable por mayores aportes de PC y de energía. En cambio, las dietas con HP resultaron en una mayor concentración de grasa láctea que las basadas en HA, mientras no hubo efectos de los tratamientos sobre el contenido de proteína láctea.

Las vacas consumiendo dietas de HA presentaron una mayor eficiencia en la utilización de AC para producir leche, pero no hubo diferencias entre tratamientos en términos de la eficiencia de utilización de la MS y la MO consumidas para dicha producción. Pese a su mayor costo, el mayor ingreso sobre costos de alimentación correspondió a las dietas con HA. Estas superaron a las con HP por \$0.71/vaca en ingreso diario en dicho criterio económico.

El HA importado mostró ser un forraje de alta calidad que cumplió mejor que el HP de baja calidad utilizado en este estudio con los requisitos nutricionales de las vacas

lecheras en etapa temprana de lactancia. Al comparar ambos henos, el HA presentó una mayor calidad en términos de consumo voluntario y producción de leche. A pesar del alto costo que conlleva la importación de HA, los ingresos sobre costos de alimentos obtenidos muestran que esta práctica puede justificarse económicamente cuando no hay disponible otro heno de calidad.

IMPLICACIONES

Basado en los resultados presentes, el HA demostró ser un forraje de alto valor nutritivo con potencial para promover la producción de vacas lecheras, tal como se esperaba. Al comparar ambos henos, el HA mostró superioridad en términos de consumo voluntario de MS y producción de leche en vacas de etapa temprana de lactancia. Los productores de leche en Puerto Rico deberían contemplar la alimentación *ad libitum* con forrajes de alta calidad, particularmente leguminosas, a vacas en etapa temprana de lactancia para promover una mayor eficiencia productiva del hato. Por otro lado, cosechar los forrajes de gramíneas en etapa temprana de maduración garantizaría una mejor calidad y digestibilidad que lo obtenido con el HP presente. Henos de buena calidad son necesarios para maximizar la producción de leche y la retribución sobre costos de alimentos durante la lactancia temprana. Además, esto debe permitir cierta economía en los costos de alimentación por concepto de menos uso de AC.

REFERENCIAS

- Agnew, R. E., and T. Yan. 2000. Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 66:197-215.
- Alhadhrami, G., and J. T. Huber. 1992. Effects of alfalfa hay of varying fiber fed at 35 or 50% of diet on lactation and nutrient utilization by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:3091-3099.
- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83:1598-1624.
- Arroyo-Aguilú, J. A., S. Tessema, R. E. McDowell, P. J. Van Soest, A. Ramirez, and P F. Randel. 1975. Chemical composition and in vitro digestibility of five heavily fertilized tropical grasses in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P. R.*, 59 (3):186-198.
- 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 pastures allowances. *J. Dairy Sci.* 85:1777-1792.
- Bargo, F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002b. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 85:2948-2963.
- Ball, D. M., C. S. Hoveland, and G. D. Lacefield. 2002. *Southern Forages*. Potash Institute (PPI) and the Foundation for Agronomic Research (FAR). 3 rd ed. p.322.
- Beauchemin, K. A. 1991. Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and alfalfa hay quality on chewing, rumen function, and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3140-3151.
- Beauchemin, K. A., and L. M. Rode. 1994. Compressed baled alfalfa hay for primiparous and multiparous dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:1003-1012.
- Belyea, R. L., and M. W. Adams. 1990. Energy and nitrogen utilization of high versus low producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73:1023-1030.
- Broster, W. H. 1976. Plane of nutrition for the dairy cow. In: *Principles of Cattle Production* (ed. H. Swan and W. H. Broster). Butterworth, London. p. 271-286.
- Broster, W. H., and C. L. Johnson. 1977. A modern approach to feeding dairy cows. *ARC Research Review* 3: 9-10.

- Broster, W. H., V. J. Broster and T. Smith. 1969. Experiments on the nutrition of the dairy heifer. VIII: Effect on milk production of level of feeding at two stages of the lactation. *J. Agric. Sci. Camb.* 72: 229-245.
- Broster, W.H., y H. Swan. 1979. Estrategias de alimentación para vacas lecheras de alta producción. A.G.T. Editors S. A. – México, D. F. p. 311.
- Buckley, F., P. Dillon, S. Crosse, F. Flynn, and M. Rath. 2000. The performance of Holstein-Friesian dairy cows of high and medium merit for milk production on grass based feeding systems. *Livest. Prod. Sci.* 54:107-119.
- Campling, R. C., and J. C. Murdoch. 1966. The effect of concentrates on the voluntary intake of roughages by cows. *J. Dairy Res.* 33: 1-11.
- Cancel, E. 2002. Efectos del nivel de concentrado y contenido de proteína protegida en el consumo voluntario y producción de leche en vacas Holstein. Tesis M.S. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.
- Caro-Costas, R., and J. Vicente-Chandler. 1979a. Comparative productivity of intensively manager star and guinea grass pastures in terms of milk production in the humid mountain region of Puerto Rico. *J. Agri. Univ. P. R.*, 63 (4):436-441.
- Caro-Costas, R., and J. Vicente-Chandler. 1979b. Milk production by Holstein cows fed only on grass during five consecutive lactations. *J. Agric. Univ. P.R.*, 60 (3): 436-438.
- Caro-Costas, R., J. Vicente-Chandler, and F. Abruña. 1972. Effect of four levels of concentrate feeding on milk production by Holstein cows grazing intensively managed tropical grass pastures. *J. Agric. Univ. P. R.* 56 (2): 104.
- Church, D. C., W. G. Pond, y K. R. Pond. 2002. *Nutrición y Alimentación de Animales*. 2nd ed. Editorial Limusa, S. A. de C. V. Grupo Noriega Editores - México, D. F. p. 605-619.
- Colucci, P. E., L. E. Chase and P. J. Van Soest. 1982. Feed intake, apparent diet digestibility and rate of particulate passage in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 65:1445-1456.
- Cowan, R. T., I. J. R. Byford, and T. H. Stobbs. 1975. Effects of stocking rate and energy supplementation on milk production from tropical grass-legume pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15:740-746.
- Demarquilly, C. and R. Jarrige. 1974. The comparative nutritive value of grasses and legumes. *Proc. 5th gen. Mtg. Europ. Grassld Fed., Uppsala, Vaxtodling*, 28: 33-42.
- 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.

- Douglas, G. N., J. K. Drackley, T. R. Overton, and H. G. Bateman. 1998. Lipid metabolism and production by Holstein cows fed control or high fat diets at restricted or *ad libitum* intake during the dry period. J. Dairy Sci. 81(Suppl. 1): 295 (Abstr.).
- Drackley, J. K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? J. Dairy Sci. 93:2259-2273.
- Dulphy, J. P. 1980. The intake of conserved forage. Proceedings of a Conference on Forage Conservation in the 80's. C. Thomas (ed). Br. Grassl. Soc., Great Britain. p. 107
- Flatt, W. P., P. W. Moe, L. A. Moore, N. W. Hooven, R. P. Lehman, E. R. Orskov, and R. W. Hemken. 1969. Energy utilization by high producing dairy cows. I: Experimental design, ration composition, digestibility data and animal performance during energy balance trials. In: Energy Metabolism of Farm Animals (ed. K. L. Blaxter, G. Thorbek and J. Kielanowski). Oriel Press, Newcastle upon Tyne. p. 221-234.
- Goff, J. P., and R. L. Horst. 1997. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. J. Dairy Sci. 80:1260-1268.
- Grainger, C., C. W. Holmes, and Y. F. Moore. 1985. Performance of Friesian cows with high and low breeding indexes. II. Energy and nitrogen balance experiments with lactating and pregnant, nonlactating cows. Anim. Prod. 40:389-400.
- Grant, R. J. 1997. Interaction among forages and nonforage fiber sources. J. Dairy Sci. 80:1438-1446.
- Grummer, R. R. 1995. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. J. Anim. Sci. 73:2820-2833.
- Hernández-Urdaneta, A., C. E. Coppock, R. E. McDowell, D. Gianola, and N. E. Smith. 1976. Changes in forage-concentrate ratio of complete feeds for dairy cows. J. Dairy Sci. 59:695-707.
- Heuer, C., Y. H. Schukken, and P. Dobbelaar. 1999. Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield, and culling in commercial dairy herds. J. Dairy Sci. 82:295-304.
- Holcomb, C. S., H. H. Van Horn, H. H. Head, M. B. Hall, and C. J. Wilcox. 2001. Effects of prepartum dry matter intake and forages percentage on postpartum performance of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 84:2051-2058.

- Holden, L. A., L. D. Muller, and S. L. Fales. 1994. Estimation of intake in high producing Holstein cows grazing grass pastures. *J. Dairy Sci.* 77:2332-2340.
- Hoover, W. H. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 69:2755-2766.
- Ingvartsen, K. L., O. Aaes, and J. B. Andersen. 2001. Effects of pattern of concentrate allocation in the dry period and early lactation on feed intake and lactational performance in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 71:207-221.
- Jaquette, R. D., A. H. Rakes, and W. J. Croom, Jr. 1986. Effects of dietary protein on milk, rumen, and blood parameters in dairy cattle feed low fiber diets. *J. Dairy Sci.* 69:1026-1034.
- Keady, T. W. J., C. S. Mayne, D. A. Fitzpatrick, and M. A. McCoy. 2001. Effect of concentrate feed level in late gestation on subsequent milk yield, milk composition, and fertility of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84:1468-1479.
- Kellaway, R., and S. Porta. 1993. Feeding concentrates supplements for dairy cows. Dairy Res. Dev. Corp. Australia.
- Kennedy, J., P. Dillon, L. Delaby, P. Faverdin, G. Stakelum, and M. Rath. 2003. Effect of genetic merit and concentrate supplementation on grass intake and milk production with Holstein Friesian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 610-621.
- Kolver, E. S., A. R. Napper, P. J. A. Cooper, and L. D. Muller. 2000. A comparison of New England and overseas Holstein Friesian heifers. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 60:265-269.
- Kolver, E. S., L. D. Muller, G. A. Varga, and T. J. Cassidy. 1998. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 81:2017-2028.
- Kunz, P. L., J. W. Blum, I. C. Hart, H. Bickel, and J. Landis. 1985. Effect of different energy intakes before and after calving on food-intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Anim. Prod.* 40:219-231.
- Lamb, J. N., J. H. D. Prescott, and D. G. Armstrong. 1976. Studies on the use of cereals and chopped dried grass for milk production. In: *Optimising the Utilization of Cereal Energy by Cattle and Pigs*. Tech. Publ. U.S. Feed Grains Council, London. p. 1-29.
- Llano, C. A. and E. J. DePeters. 1985. Apparent digestibilities of diets varying in ratios of forage to concentrate and quality of forage at two intakes by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 68:1189-1197.

- Lundquist, R. G., D. E. Otterby, and J. G. Linn. 1986. Influence of formaldehyde-treated soybean meal on milk production. *J Dairy Sci.* 69:1337-1345.
- Mallonne, P. G., D. K. Beede, and C. J. Wilcox. 1982. Lactational and physiological responses of dairy cows to varying potassium and sodium quantities and ratios in complete mixed diets. *J. Dairy. Sci.* 65 (Suppl. 1): 212 (Abstr.)
- McGilloway, D. A., and C. S. Mayne. 1996. The importance of grass availability for the high genetic merit dairy cow. *Recent Advances in Animal Nutrition*. P. C. Garnsworthy, J. Wiseman, and W. Haresing, (ed). Nottingham Univ. Press. UK. p. 135
- McRae, J. C., P. J. Buttery, and D. E. Beever. 1988. Nutrient interactions in the dairy cow. *Nutrition and Lactation in the Dairy Cow*. P. C. Garnsworthy, (ed). Butterworths, London. p. 55-75.
- Mouriño F., R. Akkarawongsa, and P. J. Weimert. 2001. Initial pH as a determinant of cellulose digestion rate by mixed ruminal microorganisms in vitro. *J. Dairy Sci.* 84: 848–859.
- Muller, L. D., and S. L. Fales. 1998. Supplementation of cool-season grass pastures for dairy cattle. *Grass for Dairy Cattle*. Cherney, H. J., and D. J. R. Cherney, (ed). CAB International. p. 335
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Nocek, J. E. 1997. Bovine acidosis: implications on laminitis. *J. Dairy Sci.* 80:1005-1028.
- O'kiely, P. 1994. The cost of feedstuffs for cattle. R & H. Hall, Technical Bulletin, No. 6, 1994.
- Rabelo, E., R. L. Rezende, S. J. Bertics, and R. R. Grummer. 2003. Effects of transition diets varying in dietary energy density on lactation performance and ruminal parameters of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:916-925.
- Randel, P. F. 1995. Two hay:concentrate ratios in total mixed rations for cows at different stages of lactation. *J. Agric. Univ. P.R.* 79:29-39.
- Randel, P. F., and J. Fernandez Van Cleve. 1988. Confinement feeding of dairy cows based on stargrass as green chopped fodder or hay. *J. Agric. Univ. P. R.* 72 (2): 231-245.

- Randel, P. F., y A. V. Méndez. 1989. Guía para la posible clasificación en Puerto Rico de henos comerciales de gramíneas. Estación Experimental Agrícola, Recinto Universitario de Mayagüez UPR. Boletín 285.
- Reid, J. T., W. K. Kennedy, K. L. Turk, J. T. Slack, W. G. Trimmerger, and R. P. Murphy. 1959. Effect of growth stage, chemical composition and physical properties upon the nutritive value of forages. *J. Dairy Sci.* 42: 567-571.
- 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 pastures. *J. Dairy Sci.* 83:2888-2898.
- Robaina, A. C., C. Grainger, P. Moate, J. Taylor, and J. Stewart. 1998. Response to grain feeding by grazing dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric.* 38:541-549.
- Ruiz, T. M., E. Bernal, C. R. Staples, L. E. Sollenberger, and R. N. Gallaher. 1995. Effect of dietary neutral detergent fiber concentration and forage source on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 78:305-319.
- Ruíz, T. M., and M. Rosario-López. 2004. Forage quality of legume hays fed to dairy cows in the tropics. *J. Dairy Sci.* 87 (Suppl. 1): 52 (Abstr.).
- Sánchez, W. K., D. K. Beede, and J. A. Cornell. 1990. Lactational performance and acid – base status of midlactation Holsteins fed graded concentrations of sodium, potassium and chloride. *J. Dairy Sci.* 73: (Suppl. 1): 162 (Abstr.).
- SAS Institute. 1990. SAS/STAT® User's Guide (Release 8.1). SAS Inst. Inc., Cary, N.C.
- Schwartz, H. M., and F. M. C. Gilchrist. 1975. Microbial interactions with the diet and the host animal. In: *Digestion and Metabolism in the Ruminant* (ed. I. W. McDonald and A. C. Warner). Univ. of New England Publishing Unit, Armidale. p. 165-180.
- Senatore, E. M., W. R. Butler, and P. A. Oltenacu. 1996. Relationship between energy balance and post-partum ovarian activity and fertility in first lactation dairy cows. *Anim. Prod.* 62: 17-23.
- Sheperd, A. C., and D. K. Combs. 1998. Long-term effects of acetate and propionate on voluntary feed intake by midlactation cows. *J. Dairy Sci.* 81: 2240-2250.

- Stockdale, C. R. 1999. The nutritive characteristics of herbage consumed by grazing dairy cows affect milk yield response obtained from concentrate supplementation. *Aust. J. Exp. Agric.* 39: 379-387.
- Sutton, J. D., W. H. Broster, E. Schuller, D. J. Napper, V. J. Broster, and J. A. Bines. 1988. Influence of plane of nutrition and diet composition on rumen fermentation and energy utilization by dairy cows. *J. Agric. Sci., Camb.* 110: 261–270.
- Tucker, W. B., G. A. Harrison, and R. W. Hempken. 1988. Influence of dietary cation – anion balance on milk, blood, urine and rumen fluid in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 71: 346-354.
- Valenciaga, D. y B. Chongo. 2004. La pared celular. Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de los forrajes. *Rev. Cubana Cienc Agric.* 38: 343-350.
- Valk, H., and J. Kogut. 1998. Salt block consumption by high yielding dairy cows fed rations with different amounts of NaCl. *Lives. Prod. Sci.* 56: 35-42.
- Van Horn, H. H. 1984. Effect of level of concentrate feeding on milk production. *In* *Holstein Sci. Rep.*, Holstein Association, Brattleboro, VT. p. 1
- Van Soest, P. J. 1975. Physico-chemical aspects of fibre digestion. *In: Digestion and Metabolism in the Ruminant* (ed. I. W. McDonald and A.C.I. Warner). The University of New England Publishing Unit, Armidale. p. 351-356.
- Veerkamp, R. F., G. Simm, and J. D. Oldham. 1994. Effects of interaction between genotype and feeding system on milk production, feed intake, efficiency and body tissue mobilization in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 39:229-241.
- Vicente-Chandler, J., R. Caro Costas, F. Abruña, y S. Silva. 1983. Producción y Utilización Intensiva de las Forrajes en Puerto Rico. *Estación Experimental Agrícola, Recinto Universitario de Mayagüez UPR. Boletín* 271.
- Voelker, J. A., G. M. Burato, and M. S. Allen. 2002. Effect of pretrial milk yield on response of feed intake, digestion, and production to dietary forage concentration. *J. Dairy Sci.* 85:2650-2661.
- Waldo, D. R. 1986. Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. *J. Dairy Sci.* 69:617-631.
- West, J. W., B. G. Mullinix, and T. G. Sandifer. 1990. Changing dietary electrolyte balance for dairy cows in cool and hot environments. *J. Dairy Sci.* 73: (Suppl. 1): 164. (Abstr.).

- West, J. W., G. M. Hill, R. N. Gates, and B. G. Mullinix. 1997. Effects of dietary forage source and amount of forage addition on intake, milk yield, and digestion for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80: 1656-1665.
- White, S. L., G. A. Benson, S. P. Washburn, and J. T. Green, Jr. 2002. Milk production and economic measures in confinement or pasture systems using seasonally calved Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 85:95-104.
- Wiktorson, H. 1971. The effect on milk yield of different levels of roughage to dairy cows. *Swedish J. Agr. Res.*, 1: 105-114.
- Zimmerman, C. A., A. H. Rakes, R. D. Jaquette, B. A. Hopkins, and W. J. Croom, Jr. 1991. Effects of protein level and forage source on milk production and composition in early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:980-990.

APÉNDICE

Cuadro 1. Composición del concentrado lechero formulado (CF) utilizado en este estudio para alimentar vacas en etapa temprana de lactancia.

Ingredientes	% de la MS en la mezcla
Maíz	45.8
Harina de soya	11.6
Afrecho de trigo	39.1
Sal	1.0
Cal	2.4

Cuadro 2. Pesos promedios por periodos de vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola (HP), heno de alfalfa (HA), concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).

Número de vaca	Peso kg			
	I	II	III	IV
1468	516.6	528.2	518.6	548.2
1448	637.7	649.5	638.9	660.5
1244	566.4	577.5	557.5	568.2
1578	438.6	472.7	429.8	490.9
1640	429.5	455.0	438.0	441.6
1112	507.3	504.5	500.0	537.7
1553	503.4	463.9	473.0	520.5
1072	546.1	537.7	528.2	561.4

Cuadro 3. Consumo de materia seca de vacas en etapa temprana de lactancia alimentadas con heno de pangola, heno de alfalfa, concentrado lechero comercial (CC) y concentrado lechero formulado (CF).

Consumo % PV	Dietas				Trat.	P < *	
	Pangola		Alfalfa			HP vs. HA	CC vs. CF
	CC	CF	CC	CF			
Heno	1.51	1.66	1.73	1.98	0.0592	0.0298	0.0890
MS total	3.2	3.4	3.67	3.87	0.0028	0.0006	0.0841
MO total	3.11	3.32	3.56	3.77	0.002	0.0005	0.0597
FDN	1.24	1.32	1.13	1.18	0.0271	0.0074	0.1331
Consumo kg/d							
Heno	7.84	8.55	9.03	10.3	0.038	0.0167	0.0890
Concentrado	8.68	8.95	10	9.98	0.0029	0.0003	0.6845
MS total	16.5	17.5	19.1	20.3	0.0016	0.0003	0.0740
MO total	16.1	17.1	18.5	19.7	0.0013	0.0003	0.0538
FDN	6.43	6.77	5.85	6.2	0.0384	0.0132	0.1075