

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia

**EFFECTO DEL NIVEL DE ENERGÍA Y PROTEÍNA DE LA
DIETA EN EL CONSUMO, CAMBIOS DE PESO Y
PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS HOLSTEIN EN EL
PERIODO DE TRANSICIÓN**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCIÓN ANIMAL**

PRESENTA:

DOLORES GÓMEZ PÉREZ

Bajo la supervisión de: Rufino López Ordaz. Ph. D.



Septiembre de 2005

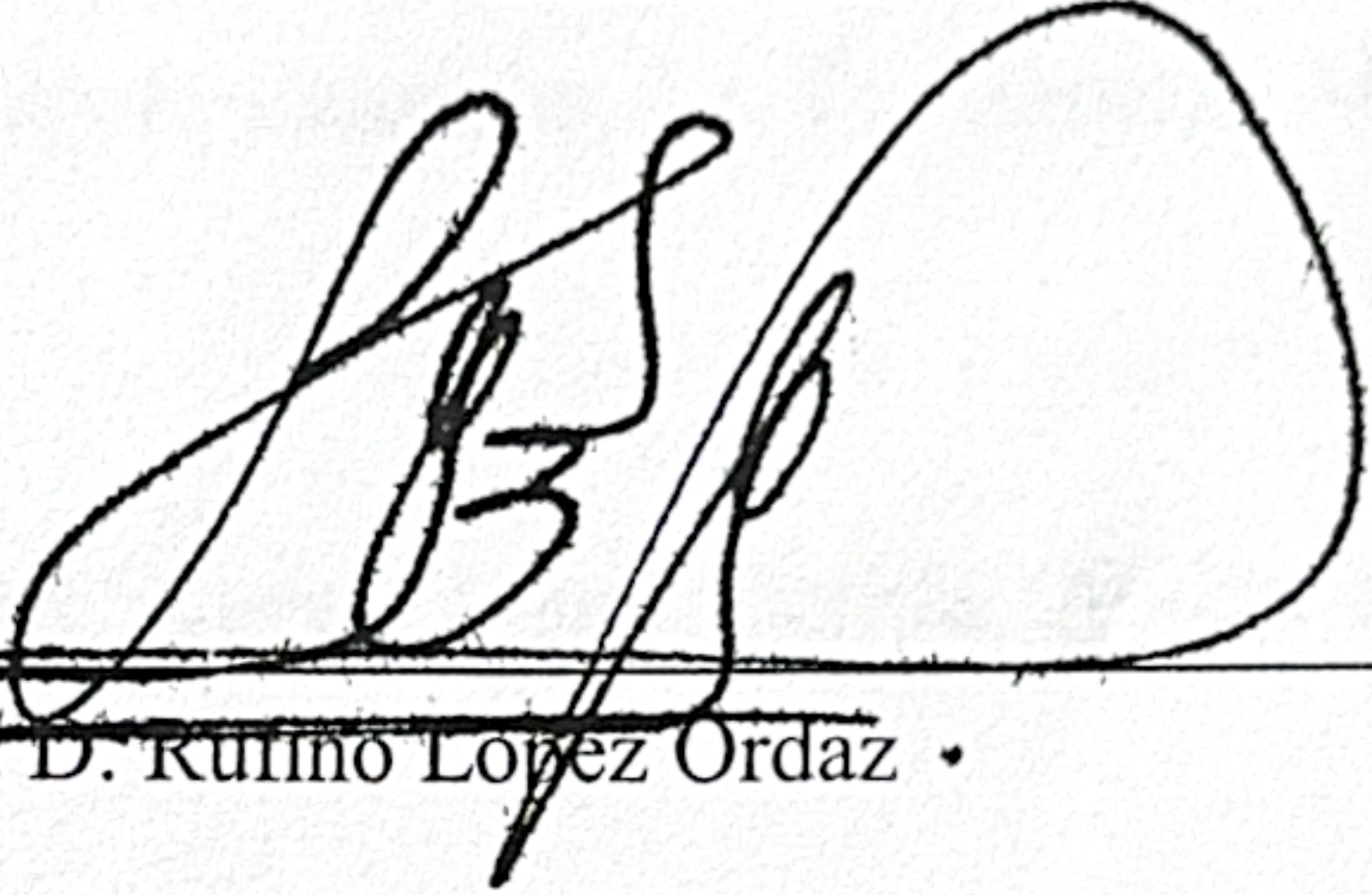
Chapingo, Estado de México

**EFFECTO DEL NIVEL DE ENERGÍA Y PROTEÍNA DE LA DIETA
EN EL CONSUMO, CAMBIOS DE PESO Y PRODUCCIÓN DE
LECHE DE VACAS HOLSTEIN EN EL PERIODO DE
TRANSICIÓN**

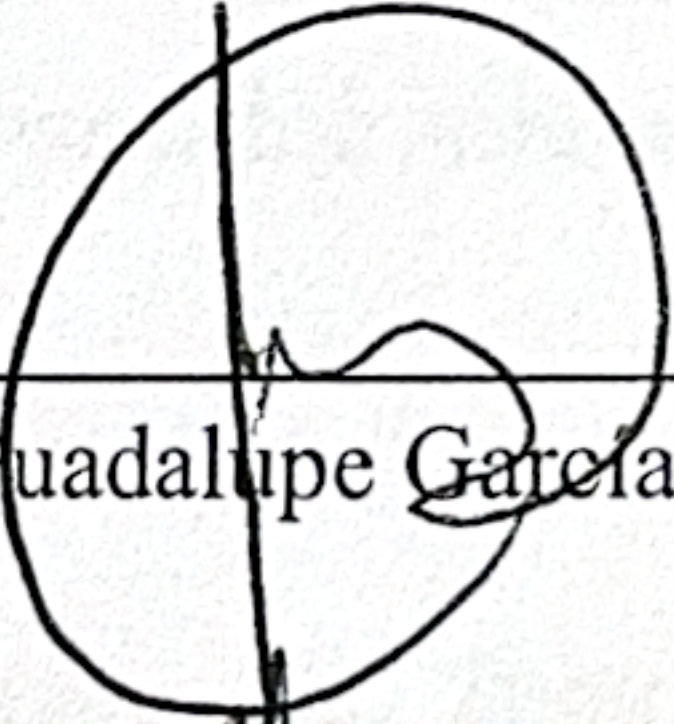
Tesis realizada por **Dolores Gómez Pérez** bajo la dirección del Comité Asesor indicado,
aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Producción Animal

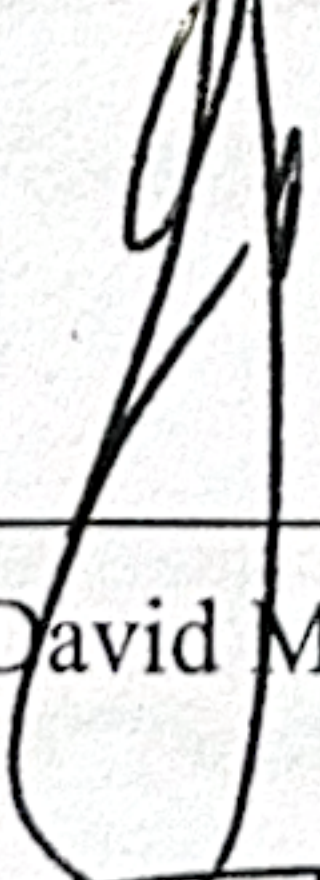
DIRECTOR:


Ph. D. Rufino Lopez Ordaz

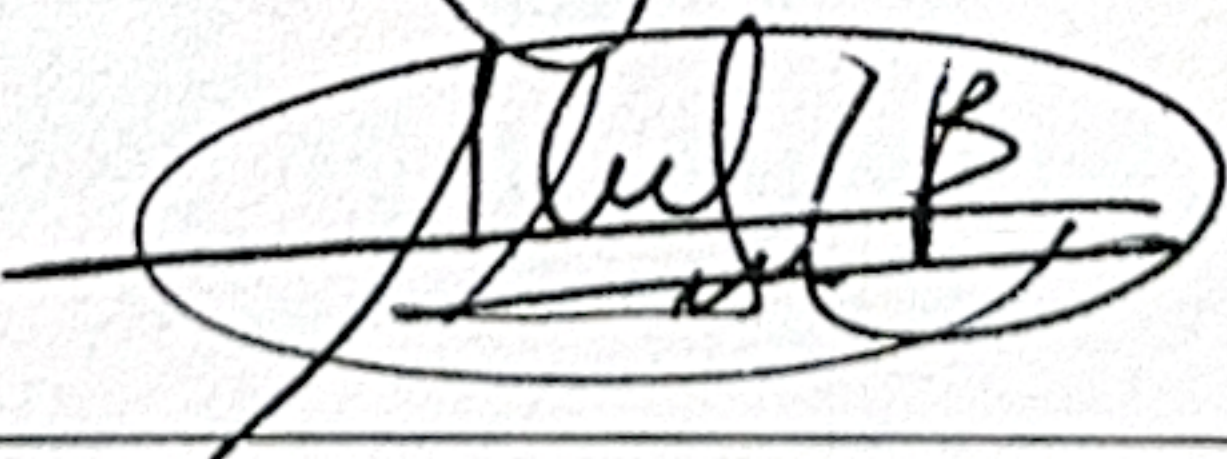
ASESOR:


Ph. D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR:


Ph. D. Germán David Mendoza Martínez

ASESOR:


Dr. Alejandro Lara Bueno

T 3243

Agradecimientos

Al Ph. D. Rufino López Ordaz; por su asesoría y apoyo para la realización de la presente tesis.

Al Ph. D. José G. García Muñiz; por su colaboración y apoyo para la realización del presente trabajo.

Al Ph. D. Germán D. Mendoza Castillo por su asesoría y apoyo para la realización de la presente investigación.

Al Dr. Alejandro Lara Bueno; por su asesoría y disposición para la realización de la presente investigación.

A la Sociedad Cooperativa Agropecuaria y Forestal “Chapingo S. A.” Por las facilidades otorgadas para la realización del trabajo de investigación.

A los Ings. José Jaimes Jaimes y Angel Hernández, y al C. Samuel Becerra; por el apoyo y la amistad brindada durante mi estancia en el establo “18 de julio” de la Universidad Autónoma Chapingo.

A la Universidad Autónoma Chapingo

Al Departamento de Zootecnia

...y al Posgrado en Producción Animal

Por mi formación profesional...

DATOS BIOGRÁFICOS

1. DATOS PERSONALES

NOMBRE:	Dolores Gómez Pérez
FECHA DE NACIMIENTO:	26 de Mayo de 1977
LUGAR DE NACIMIENTO:	Atengo, Jalisco
PROFESIÓN:	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
CEDULA PROFESIONAL:	4080742

2. DESARROLLO ACADÉMICO

1983-1989	Escuela Primaria Manuel Ávila Camacho, La Yerbabuena, Municipio de Atengo, Jalisco.
1992-1995	Escuela Secundaria Federal Manuel López Cotilla, Autlán de Navarro, Jalisco.
1995-1998	Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.
1998-2002	Licenciatura en el Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.
2003-2004	Maestría en Ciencias en Producción Animal en el Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

CONTENIDO

	Pág.
Lista de cuadros	<i>i</i>
Lista de figuras	<i>ii</i>
Capítulo I	1
Introducción	2
Capítulo II	8
Revisión de literatura	9
Consideraciones nutricionales y arreglos metabólicos durante el periodo de transición	9
Consumo de alimento durante el periodo seco e inicios de la lactancia	15
Influencia del consumo de energía durante el periodo seco e inicios de la lactancia	18
Influencia del consumo de proteína durante el periodo seco e inicios de la lactancia	21
Regulaciones hormonales durante el periodo de transición y la lactancia	26
Referencias	29
Capítulo III	34
Efecto del nivel de energía y proteína de la dieta en el consumo, cambios de peso y producción de leche de vacas Holstein en el periodo de transición	35
Resumen	35
Abstract	37
Introducción	38

Materiales y métodos	40
Descripción de los animales y procedimientos experimentales	40
Colección de las muestras y calidad de las dietas	41
Análisis estadístico	42
Resultados	43
Discusión	46
Conclusiones	54
Agradecimientos	55
Referencias	56

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición química (%) y valores calculados del flujo de lisina y metionina al duodeno de las dietas experimentales utilizadas durante el periodo seco y 105 días postparto con diferentes niveles de energía y proteína	60
Cuadro 2.	Medias de cuadrados mínimos de peso vivo (PV), cambios de PV, consumo de materia seca, consumo de energía, producción de leche y eficiencia durante el periodo seco y 105 días en leche de vacas Holstein	61
Cuadro 3.	Medias de cuadrados mínimos de peso vivo (PV) al parto, PV de terneros al nacimiento, días al primer celo, servicios por concepción y días abiertos de vacas Holstein durante 105 días en leche	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de la producción de leche, consumo de alimento, peso corporal y crecimiento fetal de vacas Holstein en condiciones de confinamiento (adaptado de Muller, 1999)	10
Figura 2. Representación esquemática del metabolismo de ácidos grasos no esterificados en la vaca lechera durante el periodo de transición (adaptado de Drackley, 1999)	13
Figura 3. Representación esquemática del núcleo arcuato del hipotálamo y el control del apetito. Hormona α -estimulante de los melanocitos, α -MSH; receptor de la hormona del crecimiento, GHS-R	18
Figura 4. Pesos corporales (kg) de vacas Holstein durante el periodo seco y 105 días postparto, consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína	63
Figura 5. Ganancia diaria de peso (GDP, kg/día) de vacas Holstein durante el periodo seco y 105 días postparto, consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína	64
Figura 6. Consumo de materia seca (kg) de vacas Holstein durante el periodo seco y 105 días postparto, consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína	65
Figura 7. Producción de leche de vacas Holstein durante 105 días de lactancia consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína	66
Figura 8. Eficiencia de producción de leche de vacas Holstein durante 105 días de lactancia consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína	67

CAPÍTULO I

Introducción

La vaca lechera experimenta grandes fluctuaciones en el consumo de alimento, el balance neto de energía y las reservas corporales a través de la vida, especialmente durante el periodo de transición. Los desórdenes metabólicos y problemas de salud son comunes durante este tiempo (Drackley, 1999). Los niveles altos de producción de leche poco después del parto son sostenidos casi exclusivamente con los lípidos provenientes del tejido adiposo removido (Agenäs *et al.*, 2003), como un suplemento del consumo de niveles inadecuados de energía. En el mismo periodo de transición, los defectos en los mecanismos que regulan la movilización y la utilización de los almacenes de energía pueden tener efectos dañinos sobre la salud y la eficiencia productiva de las vacas (Boisclair *et al.*, 1987). La demanda y la disponibilidad de energía (ingerida y endógena) deben considerarse conjuntamente para lograr la sobrevivencia, la salud y la eficiencia de la producción.

El sistema nervioso central tiene un papel importante en la integración de las señales periféricas para coordinar los factores determinantes del balance de energía (Kalra *et al.*, 1999). Por ejemplo, los requerimientos de glucosa y energía metabolizable incrementan de dos a tres veces del día 21 antes del parto al día 21 después del parto (Drackley, 2001). Una serie de cambios endocrinos pueden ser parcialmente responsables de la reducción acelerada en el consumo de materia seca dos semanas antes del parto (Ingvarsen y Andersen, 2000), de desórdenes metabólicos asociados con la salud de los animales y la reducción de la producción de leche y el comportamiento reproductivo de los animales. La transición subóptima del periodo seco a la lactancia puede reducir la producción de leche al pico y la persistencia y por lo tanto, la

producción total, causando pérdidas económicas (Rabelo *et al.*, 2003). De forma que la nutrición y el manejo apropiados durante el periodo de transición pueden mejorar el comportamiento productivo (Drackley, 1999).

En las cuencas lecheras nacionales, algunas de las vacas llegan al parto con condiciones corporales pobres, donde comúnmente reciben dietas con forrajes fibrosos que no les permiten cubrir las necesidades de mantenimiento y gestación. En este escenario, la vaca no alcanza a recuperar las reservas corporales de grasa y proteína, no estimula la población microbiana ruminal para procesar dietas con carbohidratos fácilmente fermentables y no prepara sus rutas endocrinas y metabólicas para responder a los requerimientos de la glándula mamaria posparto, lo que típicamente conduce a una serie de problemas metabólicos alrededor del parto, con la consecuente reducción en la producción de leche (PL) y daños a la economía del productor. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar el efecto de diferentes densidades de energía neta de lactancia (EN_L) y proteína (PC) de la dieta en los cambios de peso vivo (PV), el consumo de materia seca (CMS), el consumo y el balance de energía en el periodo preparto y su influencia en el PV, los cambios de PV, el CMS, el consumo de EN_L , la PL y el comportamiento reproductivo de vacas Holstein durante el periodo posparto.

Efecto del nivel de energía y proteína de la dieta en el consumo, cambios de peso y producción de leche de vacas Holstein en el periodo de transición¹

Effect of dietary energy and protein level on intake, body weight changes and milk yield of Holstein cows in transition period

D. Gómez-Pérez^{*}, R. López-Ordaz^{*2}, J. G. García-Muñoz^{*}, G. D. Mendoza-Martínez[†], A. Lara-Bueno[‡] and J. Jaimes-Jaimes[‡]

^{*1}Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P 56230

[†] Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

[‡] Cooperativa Agropecuaria y Forestal Chapingo, S.C. de R.L. Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P 56230.

Resumen

El objetivo fue comparar el efecto de diferentes densidades de EN_L y PC de la dieta en el peso vivo (PV, kg), la ganancia diaria de peso (GDP, kg/día), el consumo de materia seca (CMS, kg), el consumo de EN_L (Mcal/kg), en el periodo seco y su influencia en el PV (kg), los cambios de PV (kg/día), el CMS, la producción de leche (PL, kg), el consumo de EN_L y la eficiencia (de conversión del alimento a leche; %) de vacas Holstein durante 105 días de lactancia. En el estudio se utilizaron 30 vacas Holstein (PV

¹El experimento fue realizado por el Posgrado en Producción Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

^{*}Departamento de Zootecnia, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco, Km 38.5 Chapingo, Estado de México. C.P. 56230. [†]Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

² Correspondencia : R. Lopez-Ordaz; e-mail rlopez@correo.chapingo.mx, rlopezor@yahoo.com.

= 703.4 ± 16.3 kg, de ocho semanas antes del parto proyectado por registros), las cuales fueron estratificadas por PV y aleatoriamente asignadas a uno de tres tratamientos. En el periodo seco, las vacas fueron alimentadas con uno de tres tratamientos que contenían 1.28 y 15.8, 1.58 y 18.7, 1.86 y 19.3, Mcal/kg y % de PC, respectivamente, para las dietas baja, media y alta. En periodo posparto, las vacas fueron alimentadas con 1.46 y 16.9, 1.77 y 19.2, y 2.10 y 19.5, Mcal/kg y % de PC, respectivamente, para las dietas baja, media y alta. El CMS se registró diariamente en forma individual, mientras que el PV y la GDP se registraron semanalmente durante el periodo de estudio. En el periodo seco, el PV no fue afectado ($P>0.05$) por los tratamientos. Sin embargo, se observó un efecto de la semana de gestación ($P<0.05$). Los tratamientos influyeron positivamente ($P<0.05$) en la GDP. Las vacas que consumieron las dietas con contenido alto y bajo mostraron GDP mayores a las que consumieron la dieta media. El efecto de los tratamientos no influyó ($P>0.05$) en el CMS de la semana 7 a la 4 antes del parto. En contraste, el CMS fue diferente ($P<0.05$) para los tratamientos de la semana -3 al parto, donde se observó una caída dramática del mismo. En el periodo posparto, las vacas que consumieron la dieta alta y media fueron más pesadas ($P<0.05$) que las vacas alimentadas con la dieta baja. El CMS fue afectado por los tratamientos ($P<0.05$). Las vacas alimentadas con la dieta alta mostraron consumos altos, los de nivel medio fueron intermedios y los de nivel bajo fueron bajos. Se detectó una interacción tratamiento x semana ($P<0.05$) en la PL. Las vacas alimentadas con la dieta alta produjeron 7.0 y 15.3 kg de leche por día más que las vacas que consumieron las dietas media y baja, respectivamente. Similarmente, las dietas experimentales influyeron ($P<0.05$) en la eficiencia de PL. Las vacas que consumieron la dieta alta fueron más eficientes para convertir el alimento a leche que las vacas que consumieron las dietas media y baja. En

resumen, los niveles de proteína y energía utilizados en el periodo preparto se asociaron con incrementos en el CMS, el consumo de energía y la GDP. Durante el periodo posparto, los incrementos de energía y proteína se asociaron con incrementos en el PV, CMS, el consumo de energía, la PL y la eficiencia de PL.

Palabras clave: periodo de transición, energía, proteína, producción de leche

Abstract

The objective was to study the effect of increasing dietary NE_L and CP levels on BW (kg), ADG (kg/d) and DMI (kg) in the dry-off period, and its influence on BW, BW changes (kg/d), DMI, energy intake (EI, Mcal/kg), milk yield (MY), MY efficiency (MYE) during 105 days on milk. Thirty Holstein cows ($BW = 703.4 \pm 16.3$ kg; eight weeks before expected calving) were stratified by BW and randomly assigned to one of three treatments. During the dry-off period, cows were individually fed with one of three diets containing 1.28 and 15.8, 1.58 and 18.7, or 1.86 and 19.3 Mcal/kg and % CP, respectively for the low, medium and high diets. After calving, cows were fed 1.46 and 16.9, 1.77 and 19.2, or 2.10 and 19.5 Mcal/kg and % CP, respectively, for the low, medium and high diets. Daily DMI was individually recorded, whereas BW, and ADG were recorded weekly. No treatment effect ($P>0.05$) was observed on BW during the dry period. However, a week of gestation effect ($P<0.05$) was observed. Likewise, a treatment effect ($P<0.05$) was observed for ADG, cows fed high and low diets showed higher gain than those fed medium diets. No treatment effect ($P>0.05$) was observed for DMI from week 7 through week 4 before calving. However, DMI from week -3 through calving was higher ($P<0.05$) for cows on the high level diet. During the postpartum

period, cows on the high and medium level diet were heavier ($P<0.05$) than those fed low diets. No treatment effect ($P>0.05$) was observed for ADG. However, cows on the high level diet had higher ($P<0.05$) DMI than the medium and low diet cows. A treatment x week interaction ($P<0.05$) indicates differences for MY among treatments; on average, daily MY of cows fed the high diet was 7.0 and 15.3 kg higher than those fed on the medium or low diets, respectively. In conclusion, during the dry-off period increasing dietary levels of EN_L and CP increased ADG, energy intake and DMI. Likewise, during the postpartum period, increasing the levels of EN_L and CP were associated with increased BW, DMI, MY and MYE.

Key words: transition period, energy, protein, milk yield

CAPÍTULO II

Revisión de Literatura

La biología y el manejo de la vaca lechera en transición influyeron en los patrones y objetivos de producción de las explotaciones lecheras en los últimos años. Dicha influencia creó expectativas diferentes en varios ámbitos incluyendo el margen de ganancia por kg de leche producido y nuevos retos en la investigación de la nutrición y la fisiología de la vaca. La regulación de la partición de nutrientes durante la preñez y la lactancia fueron extensamente revisados por Bell (1995) y Overton y Waldron (2004). La presente revisión de literatura se enfocará a la discusión de los cambios metabólicos y fisiológicos que ocurren en el periodo de transición y sus efectos en el comportamiento productivo y la habilidad reproductiva de los animales durante las primeras semanas posparto, cuando consumen niveles variables de EN_L y la PC en la dieta.

Consideraciones nutricionales y arreglos metabólicos durante el periodo de transición

El periodo seco es considerado como el tiempo de descanso de la glándula mamaria (GM), y la preparación de la vaca para la lactancia inmediata sin evitar la influencia de la gestación. La interacción de dichos factores tiene como resultado muchas implicaciones en el manejo durante el tránsito a la lactancia. En respuesta a los eventos indicados, la vaca presenta varios arreglos metabólicos y ajustes endocrinos para mantener la homeostasis y la homeorresis durante los periodos de pre- y posparto (Bauman y Currie, 1980).

El reto más impactante ocurre alrededor del parto, específicamente dos o tres días después del parto, cuando la GM demanda cantidades excesivas de nutrimentos para

poder mantener la PL inicial, con base en la preparación y las reservas adquiridas antes del parto y con un consumo de alimento reducido e inferior a las necesidades de la lactancia (Figura 1). El manejo nutricional durante el periodo seco buscará generar las condiciones óptimas para que la vaca pueda mantener la homeostasis a pesar de los retos impuestos por la glándula mamaria.

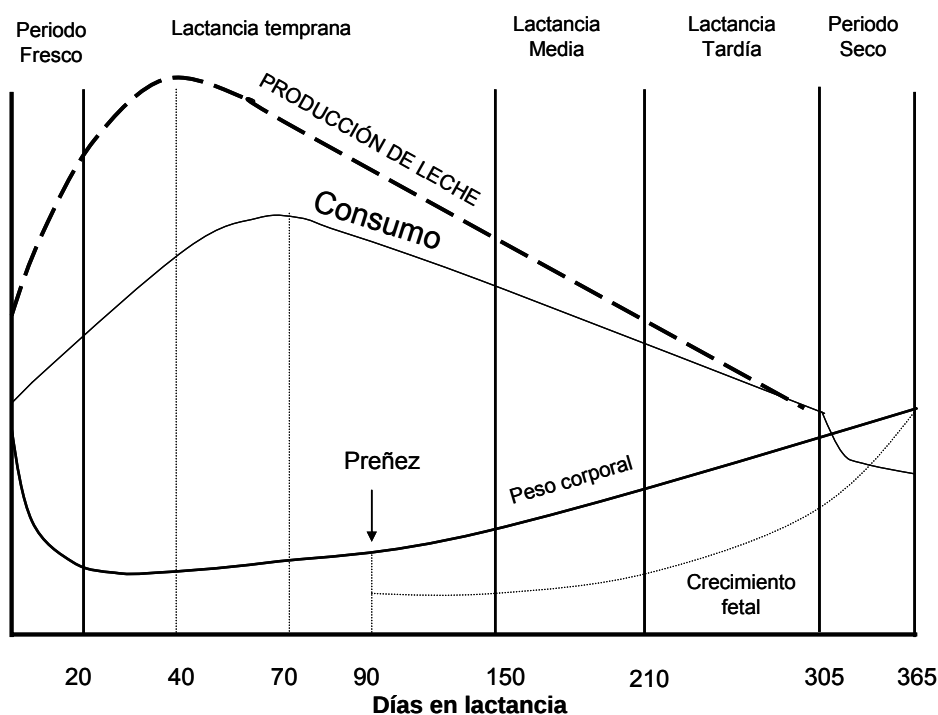


Figura 1. Representación esquemática de la producción de leche, consumo de alimento, peso corporal y crecimiento fetal de vacas Holstein en condiciones de confinamiento (adaptado de Muller, 1999).

Como resultado de las alteraciones metabólicas y endocrinas, la vaca experimenta un balance negativo de energía que puede prolongarse hasta la semana 15 postparto (Figura 1) o hasta donde los requerimientos de energía de la GM y de la vaca excedan al

consumo de energía. El balance negativo de energía, gobernado por la lactancia, presenta signos metabólicos diversos incluyendo niveles altos de ácidos grasos no esterificados (AGNE), β -hidróxibutirato, niveles altos de triglicéridos en hígado, hiperglicemia e hipocalcemia (Herdt, 2000).

El escenario frecuente del periodo de transición de la vaca lechera se relaciona con cambios dramáticos en las necesidades de nutrimentos requeridos para la coordinación del metabolismo en aras de satisfacer las necesidades de AA, glucosa, energía y minerales para el funcionamiento apropiado de la GM en el posparto. Los cambios más influyentes fueron observados por Bell (1995) a los 250 días de gestación y los primeros cuatro días de la lactancia. En dicho periodo, las necesidades del útero grávido y la GM incrementan aproximadamente tres veces la demanda por glucosa, dos veces la demanda de AA y aproximadamente en cinco veces la demanda por ácidos grasos. Además, los requerimientos de Ca incrementan aproximadamente cuatro veces en el día del parto. Como consecuencia, la vaca establece un control homeostático y homeorrético que permite cambios metabólicos para la partición de nutrientes (Bauman y Currie, 1980).

La primera adaptación metabólica ocurre en el metabolismo de los carbohidratos durante la lactancia. La acción clave es el acelerado incremento en la gluconeogénesis hepática y la disminución rápida de la glucosa en los tejidos periféricos para enviar una cantidad mayor de glucosa a la GM para síntesis de lactosa. La piruvato carboxilasa y la fosfoenolpiruvato carboxikinasa representan potencialmente las enzimas limitantes para la gluconeogénesis hepática de los precursores antes de pasar por las rutas glucogénicas de las triosas de fosfato. Las dos enzimas trabajan coordinadamente durante el periodo de transición. En dicho periodo, ambas favorecen el incremento en la capacidad de la

gluconeogénesis por lactato, AA y la oxidación de ácidos grasos. La concentración de PC y otras formas de N preparto no tienen impacto alguno en las dos enzimas. En el periodo de tránsito a la lactancia, ambas incrementan considerablemente su actividad de respuesta a AA derivados del agotamiento de reservas corporales ó a la liberación de ácidos grasos provenientes del tejido adiposo antes del parto. Sin embargo, los cambios son sincronizados por la demanda esperada de glucosa y de otros precursores glucogénicos para la oxidación en el hígado (Greenfield *et al.*, 2000). De acuerdo con Seal y Reynolds (1993), los sustratos principales para la gluconeogénesis hepática en rumiantes incluyen al propionato de la fermentación ruminal, los AA del catabolismo de proteínas ó la absorción del sistema portal y el glicerol liberado durante la lipólisis en el tejido adiposo.

En otro estudio, Reynolds *et al.* (2003) observaron que el flujo neto de glucosa a través del sistema portal de las vacas fue cero y ligeramente negativo durante el periodo de transición e inicios de la lactancia. Sin embargo, conforme la lactancia progresa, la demanda de glucosa supera al CMS. El incremento de 267% en la producción de glucosa del tejido esplágnico de nueve días antes del parto a 21 después del parto resultó casi completamente en el incremento de la gluconeogénesis hepática. Otros cambios metabólicos ocurridos fueron la reducción de la insulina arterial, el acetato y el incremento de AGNE durante la lactancia. En el mismo estudio, se observó que el potencial de contribución de lactato, alanina y glicerol a la síntesis de glucosa en el hígado fueron altos 11 días después del parto. Sin embargo, no hubo evidencia de una contribución mayor de otros AA para la síntesis de glucosa conforme los requerimientos de la misma y de la PL incrementaron.

El metabolismo de los lípidos representa otra adaptación homeorrética en la lactancia. Dicha adaptación se relaciona con la movilización de reservas corporales para cubrir los requerimientos energéticos promedio de la vaca durante el balance negativo de energía al inicio de la lactancia. La excesiva movilización de lípidos del tejido adiposo fue asociada con problemas de salud al parto. La grasa corporal es movilizada al torrente sanguíneo en forma de AGNE. Los AGNE son utilizados como combustible y en un 40% para formación de grasa de leche durante la lactancia temprana (Bell, 1995). El músculo esquelético usa parcialmente los AGNE como combustible, particularmente cuando el músculo disminuye su afinidad por glucosa al inicio de la lactancia (Figura 2).

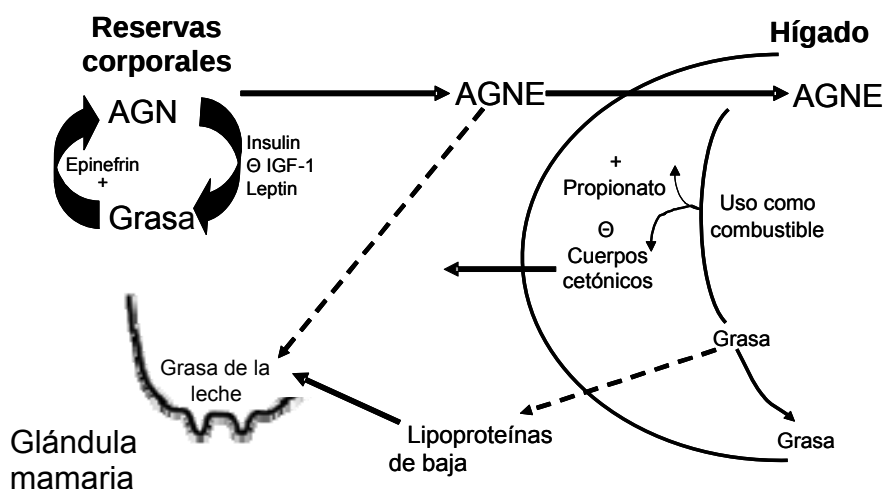


Figura 2. Representación esquemática del metabolismo de ácidos grasos no esterificados en la vaca lechera durante el periodo de transición (adaptado de Drackley, 1999).

Pullen *et al.* (1989) indicaron que la concentración de AGNE incrementó en respuesta al aumento de las necesidades de energía acompañados por el CMS inadecuado. En animales con reservas corporales extras y con dietas conteniendo carbohidratos fácilmente fermentables, la concentración plasmática de AGNE fue significativamente menor. La evidencia disponible sugiere que el hígado toma AGNE proporcionalmente a su suministro (Reynolds *et al.*, 2003). Sin embargo, el hígado típicamente no tiene la capacidad suficiente para perfeccionar la deposición de AGNE a través de la exportación de la sangre o al catabolismo para energía; por lo tanto, las vacas se predisponen a acumular AGNE como triglicéridos dentro del hígado usando grandes cantidades de los mismo que son liberados del tejido adiposo a la circulación (Emery *et al.*, 1992).

Recientemente, Reynolds *et al.* (2004) concluyeron que el incremento en el tracto gastrointestinal y el hígado durante el periodo de transición es más una respuesta al CMS y no una respuesta al inicio de la lactogénesis. En el mismo estudio, se observó un incremento en la masa de las papilas del rumen del saco craneal, lo que se atribuyó al incremento en consumo de concentrado antes del parto. La inclusión de forraje fibroso como paja de cebada incremento la grasa mesentérica y redujo la masa estomacal, mientras que el suministro de proteína protegida, proveniente de harina de soya no tuvo efecto en la masa visceral.

Aparentemente, existe la posibilidad que algunos triglicéridos se acumulen en el hígado de las vacas lecheras altas productoras durante las primeras semanas posparto. Lo que es incierto es el umbral al cual la grasa inicia y tiene efectos negativos en el funcionamiento del hígado y otros tejidos periféricos requeridos en los procesos hepáticos.

Consumo de alimento durante el periodo seco e inicios de la lactancia

En algunas vacas lecheras, la condición y el peso corporal son notablemente constantes a pesar de las grandes variaciones en el consumo de alimento y el gasto de energía en el periodo peri-parturiento, sin embargo, esto no es válido para la mayoría de las vacas. El balance entre el consumo y el gasto de energía está regulada por efectores nerviosos aferentes y eferentes. Por dicha razón, y con el objetivo de mantener el peso y la condición corporal estable por periodos largos de tiempo, es conveniente que la vaca guarde un equilibrio entre el consumo de alimento y el gasto de energía. De acuerdo con Stellar (1994) el hipotálamo fue el primero de los implicados en el proceso homeostático hace más de cinco décadas. Los estudios de lesiones y estimulación de los núcleos hipotalámicos sugirieron a varios núcleos del hipotálamo como los centros reguladores tanto del consumo como de la saciedad. Sin embargo, actualmente se piensa que la homeostasis puede ser regulada por circuitos hormonales los cuales usan señales a través de neuropéptidos (Cupples, 2003).

El núcleo arcuato (NA) del hipotálamo es uno de los presuntos implicados en la integración de señales que regulan el apetito. El NA es accesible a las señales circulantes del balance de energía, vía la eminencia media, debido a que dicha región del cerebro no tiene protección de barreras cerebro-sanguíneo (Broadwell y Brightman, 1976). Con base en la no existencia de barreras, algunas hormonas intestinales periféricas como el neuropéptido Y (NPY), el péptido YY (PYY) y el glucagón-péptido-1 (GP-1) son capaces de atravesar la barrera cerebro-sanguínea vía mecanismos no saturables.

El NA dispone de dos poblaciones de neuronas que integran señales de estado nutricional y la influencia de la homeostasis energética. Un circuito neuronal inhibe el consumo de alimento mediante la expresión de neuropéptidos como

proopiomelanocortina y la transcripción regulada de cocaína y anfetaminas (Swartz *et al.*, 2000). El otro circuito hormonal estimula el consumo de alimento mediante la acción de varios neuropeptidos, principalmente el NPY, el PYY y la polipéptidasa pancreática. Todos los péptidos anteriores son miembros de la misma familia de péptidos pancreáticos con secuencias de AA muy parecidas de hasta un 70% entre el NPY y el PYY. Tatemoto (1982) reveló que la mayoría de los miembros de esta familia están ampliamente distribuidos en el SNC, y particularmente en el hipotálamo.

El NPY es uno de los mas abundantes neurotransmisores del cerebro (Parker *et al.*, 2002) que es sintetizado en el núcleo arcuato y liberado en el núcleo paraventricular del hipotálamo. El NPY promueve la ganancia neta de energía basado en el incremento en el consumo de alimento, y al mismo tiempo reduce el gasto de energía. Además, tiene efectos periféricos en la estimulación de glucocorticoides y la secreción de insulina favoreciendo la deposición de triglicéridos en el tejido adiposo. Los niveles hipotalámicos de NPY reflejan el estado nutricional del animal, como una característica esencial de un regulador de la homeostasis energética de largo plazo. Los niveles de NPY en el hipotálamo incrementan con el ayuno y se reducen después de la comida (Kalra *et al.*, 1991).

El NPY está regulado por insulina, leptina y esteroides adrenales. Por ejemplo, la insulina ha sido propuesta como un agente anoréxico en el medio basal del hipotálamo. La infusión de insulina en el hipotálamo reduce el ayuno induciendo un incremento en la expresión del NPY (Dube *et al.*, 1992). También se ha observado que la deficiencia de leptina ó la ineficiencia de los receptores de leptina promueven incrementos en la concentración de NPY en el NA, sugiriendo un papel regulador del NPY. La leptina induce saciedad y pérdida de peso vía la reducción en el consumo de alimento. El

incremento en la termogénesis, que es otra acción regulada por la leptina produciendo una reducción en el NA de mRNA NPY (Xu *et al.*, 1995). El NPY es también modulado por el eje hipotálamo-hipófisiario-adrenal, sin que se haya demostrado influencias reguladoras fisiológicas. Sin embargo, las neuronas receptoras de NPY en el NA tienen una densidad alta por los receptores de glucocorticoides.

La leptina es secretada por adipositos y su secreción es regulada por la deficiencia de energía o niveles altos de grasa que envían señales al hipotálamo. La leptina inhibe la liberación de NPY y de otros péptidos que actúan conjuntamente en las neuronas del NA. La leptina también incrementa la liberación de la hormona α -estimulante de los melanocitos (α -MSH) y la transcripción regulada de cocaína-anfetaminas (CART). Por ejemplo, el ayuno incrementa NPY y reduce la proopiomelanocortina (POMC) en el NA (Figura 3). La obesidad inducida por la alimentación con dietas altas en energía es asociada con la resistencia a leptina, convirtiendo a la misma en un agente poco activo en la reducción del consumo de alimento. Por lo tanto, en vacas gordas, el consumo *per se* de grasa o dietas con contenidos altos en energía pueden inducir resistencia a la leptina y alterar el metabolismo de las grasas, carbohidratos y energía de la vaca lechera en transición.

Con base en lo anterior, la regulación del consumo por péptidos tiene aplicaciones en el manejo de la vaca durante el periodo de transición. La alteración metabólica de algunas de las hormonas puede conducir a la gordura excesiva y saturar las barreras hipotalámicas del control del apetito y evitar directa ó indirectamente la preparación de la vaca para el estrés del parto y la lactancia inmediata.

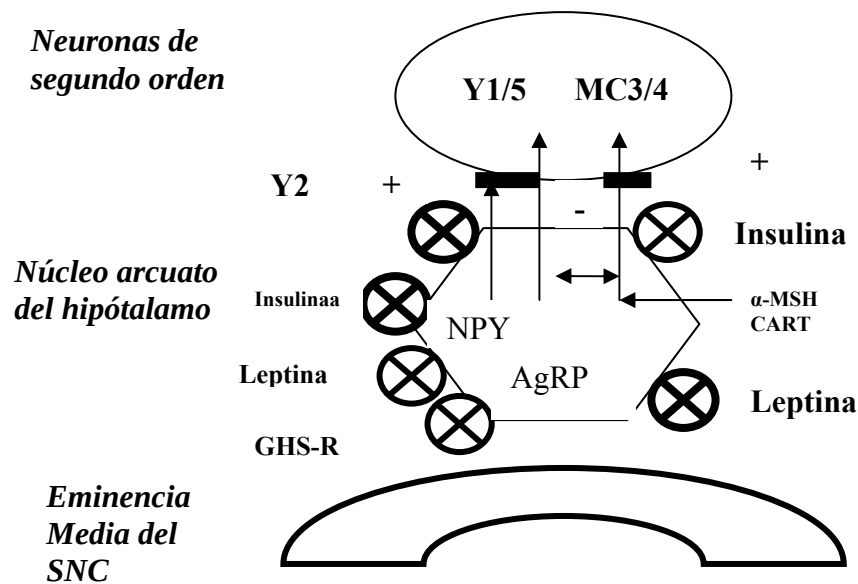


Figura 3. Representación esquemática del núcleo arcuato del hipotálamo y el control del apetito. Hormona α -estimulante de los melanocitos, α -MSH; receptor de la hormona del crecimiento, GHS-R.

Influencia del consumo de energía durante el periodo seco e inicios de la lactancia

El periodo de transición se ha caracterizado por una serie de arreglos no solamente metabólicos sino también endocrinos que tienden a adaptar al animal para el parto y la lactancia inmediata. Las transacciones metabólicas y endocrinas inapropiadas, del periodo seco a lactancia, pueden reducir el pico de producción máxima y la persistencia de la producción de leche, el comportamiento reproductivo y como consecuencia reducir las ganancias marginales para el productor.

Los cambios endócrinos pueden ser parcialmente responsables de una reducción acelerada en el consumo voluntario de los alimentos durante las dos últimas semanas antes del parto (Ingvertsen y Anderson, 2000). En años recientes, también se sugirió que el incremento en la densidad de energía de la dieta con fuentes adicionales de energía o

carbohidratos con bajos contenidos de fibra puede promover beneficios en las actividades de los animales (Dorshorst y Grummer, 2002). La energía adicional suministrada a los animales puede compensar el balance negativo preparto, especialmente por la reducción en el consumo de alimento. Por ejemplo, la inclusión de carbohidratos no fibrosos en dietas con contenido alto de granos permite el incremento en la población ruminal y promueve el desarrollo de las papilas ruminales. Dirksen *et al.* (1985) indicaron que el crecimiento de las papilas del rumen toma de cuatro a seis semanas para alcanzar el desarrollo completo y puede incrementar la capacidad para absorber ácidos grasos volátiles (VFA) de las dietas con altos contenidos de granos en el inicio de la lactancia.

La adición de carbohidratos fácilmente fermentables también ayuda a compensar los cambios homeorréticos en el animal. Por ejemplo, Dann *et al.* (1999) indicaron que las dietas completas con maíz quebrado vs. maíz laminado suministrados 28 días antes del parto no afectaron el consumo de MS, el peso corporal y la condición corporal. Las vacas que consumieron maíz laminado mostraron concentraciones más bajas de urea en plasma durante el periodo preparto y más baja concentración de AGNE durante los periodos de pre- y postparto. Además, las vacas que consumieron maíz laminado durante el preparto produjeron 2.3 kg/día más de leche que las que consumieron maíz quebrado.

La asociación de la energía con la proteína involucra varios aspectos complejos en la acumulación de reservas y preparación para la movilización de las mismas durante el tránsito de la gestación avanzada a la lactancia inmediata. Como consecuencia no sólo es la adición de carbohidratos de fermentación rápida, sino también la conjugación con proteína como soporte a las condiciones ruminales y regulaciones periféricas. Rabelo *et al.* (2001) indicaron que el incremento en energía de 1.51 a 1.65 Mcal/kg de MS y una

dieta alta en energía (1.65 Mcal/kg) donde una parte de la alfalfa y el ensilado de maíz fueran remplazados paulatinamente con paja, harina de soya y almidón, afectaron positivamente el CMS durante el periodo de transición. Además, el incremento en energía influyó positivamente en la concentración de propionato en el rumen, la insulina y la reducción de los niveles plasmáticos de AGNE. La sustitución de la alfalfa y el ensilado de maíz incrementó la concentración de propionato y produjo una mayor cantidad de precursores glucogénicos para la vaca. Por el contrario, no hubo efectos positivos de las dietas en el llenado del rumen.

La respuesta en producción, debida a la asociación entre proteína y energía requieren de la combinación precisa de niveles y calidades de ambas. La acción de restituir las reservas agotadas durante la lactancia asociado con la preparación de las mismas para utilizarlas cuando se requieren, constituye un problema de solución compleja. Por ello, algunos autores han indicado que la calidad de la proteína debe encontrar su contraparte en la cantidad y la calidad de la energía y viceversa. Por ejemplo, Rabelo *et al.* (2003) indicaron que durante el periodo seco (- 28 días) las vacas que consumen una dieta alta en energía (alta en energía: 1.70 Mcal de EN_L ; con 32% de FDN y 44% de carbohidratos no fibrosos) mostraron un incremento de 19.8 y de 21.5% en el CMS y EN_L superiores a los animales que consumen una dieta baja en energía (baja en energía: 1.58 Mcal de EN_L ; con 40% de FDN y 38% de carbohidratos no fibrosos). La diferencia en el CMS se relacionó con el crecimiento de los microorganismos del rumen y el desarrollo de papilas ruminales, lo que permitió una tasa de fermentación más rápida de los carbohidratos.

En apoyo a la indicación anterior, otros autores han observado resultados similares ó contrastantes. Por ejemplo, Olsson *et al.* (1998) indicaron que las vacas que

consumieron dietas conteniendo 27.4% de FDN durante el periodo seco incrementaron en 15% el consumo de alimento comparado con las vacas que consumieron dietas con 31.5% de FDN. El incremento excesivo de FDN puede resultar en efectos negativos en el CMS por un efecto de saturación del rumen. El mismo autor indicó que el nivel de NDF superior al 42.5 % fue considerado como excesivo. El exceso tiene implicaciones prácticas directas en el metabolismo del animal debido a que la cantidad de fibra que no se fermenta ocupa un lugar en rumen, redundando en la suspensión del control del consumo por efectos de relleno ruminal. El resultado inmediato puede ser la suspensión parcial o total del consumo voluntario de alimento.

Influencia del consumo de proteína durante el periodo seco e inicios de la lactancia

El mejoramiento de la nutrición de la vaca durante el periodo de transición puede reducir la movilización de tejido corporales preparto y mejorar la salud, el CMS y la PL. De acuerdo con las recomendaciones más recientes (NRC, 2001), una vaca en el periodo seco con aproximadamente 680 kg de peso corporal, 3.3 de condición corporal y 0.67 kg de ganancia/día requiere aproximadamente 14 Mcal/día ó 0.97 Mcal/kg de MS de EN_L y un consumo estimado de aproximadamente 14.4 kg/día. Posteriormente, al tercero o cuarto día, la demanda por nutrimentos incrementa en forma considerable, dependiendo de la habilidad productiva de la vaca. Por ejemplo, la misma vaca de 680 kg con sus requerimientos normales en el periodo seco, incrementará sus requerimientos en 200 ó 300% más durante la lactancia con respecto al periodo seco.

Aparentemente la sugerencia implica incrementar la densidad de la energía y la proteína en la dieta como un factor condicionante para mejorar las reservas corporales, preparar a la población ruminal (para aprovechar ingredientes diferentes provenientes de las

dietas), y para capacitar las rutas hormonales y metabólicas en la satisfacción de las necesidades de la GM.

Con base en los fundamentos anteriores, Dewhurst *et al.* (2000) demostraron que las dietas completas con base en ensilado de maíz y rastrojo (de cebada contenido de proteína bajo) o ensilado de maíz (contenido de proteína moderado) y con deficiencias en PDR, promovieron un mayor reciclaje de N al rumen de forma que la fermentación de la fibra y la producción de proteína microbiana por unidad de materia orgánica (MO) fermentada no fueron perjudicadas. El consumo de forraje disminuyó por la inclusión de paja de cebada, mientras que la adición de 0.5 kg de forraje de calidad alta tuvo pocos efectos en el consumo de forrajes. La reducción en el consumo de alimento de vacas alimentadas con ensilado de maíz y paja de cebada produjeron leche con reducido contenido de proteína y lactosa durante los primeros meses de la lactancia inmediata. A pesar de las diferencias nutricionales durante el periodo seco hubo pocos efectos residuales durante la lactancia siguiente, indicando la habilidad del animal para compensar la alimentación deficiente durante el periodo seco, si el manejo se mejora durante la lactancia inmediata. La concentración de GH en el plasma alcanzó un pico alto antes del parto y después disminuyó a su nivel normal alrededor de la semana tres después del parto. Los niveles de insulina mostraron una caída al parto, posteriormente, mostraron un incremento lineal hasta al final de la lactancia.

Los patrones hormonales fueron consistentes con la movilización de proteína y energía para compensar el insuficiente suministro de nutrientes de la dieta. Los resultados del estudio de Dewhurst *et al.* (2000) demostraron que algunos animales iniciaron la lactancia con estados agotados de energía, otras en un estado normal y otras con reservas extras, como una respuesta natural de los animales. Asociado a dicha

respuesta, también debe considerarse la relación entre energía y proteína en la acumulación de reservas corporales y su movilización en el momento requerido. La adición excesiva de ellas, promoverá alteraciones que aparecerán cuando la vaca no pueda compensarlas. Por lo tanto, la acción conjunta de ambas influirá determinadamente en el éxito del ciclo productivo de la vaca. Como se indicó anteriormente en esta revisión, uno de los primeros puntos de acuerdo entre energía y proteína es la activación de glucosa. Con base en ello, Dorshorst y Grummer (2002) observaron que la adición de 9.1 (baja proteína) y 11.2% de PC (moderada proteína), con un mismo nivel de energía y la proximidad al parto tuvieron efectos modestos sobre la producción de ácidos grasos volátiles y el pH ruminal. El CMS disminuyó de 12.2 kg/d en el día -21 a 9.1 kg/d en el día -1 del parto y no fue afectado ni por el nivel de proteína ni por el parto. La desaparición de la FDN de las bolsas de Dacrón incubadas en el rumen fue significativamente reducida cuando la PC de la dieta fue menor al 11%. Las concentraciones de AGNE en plasma incrementaron de 218 μ Eq/L en el día -21 a 619 μ Eq/L en el día -1 del parto, mientras que los niveles de urea sanguínea, β -hidroxibutirato, y glucosa no fueron afectados por los niveles de PC en la dieta.

Los resultados del estudio anterior, concuerdan con Park *et al.* (2002), quienes observaron que los niveles de PC de 9.7, 11.7, 13.7, 14.7 y 16.2% ofrecidos a vacas 28 días antes del parto mejoraron el comportamiento productivo de las vacas después del parto. El incremento en proteína hasta 14.7% incrementó la PL, la proteína de la leche y la grasa. No hubo diferencias de tratamientos en relación con la concentración IGF-1. Las dietas de transición de 13.7% CP y 1.54 Mcal de EN_L produjeron efectos benéficos en la lactancia inmediata.

Otros estudios indican efectos diferentes por la calidad de la proteína. El efecto de la PC y la cantidad de proteína no degradable en rumen (PNDR) preparto en la salud y producción después del parto fue investigado por Greenfield *et al.* (2000). Las dietas preparto contenían 12 y 26, 16 y 26, 16 y 33 y 16% y 40% de PC y PNDR, respectivamente. Después del parto todas las vacas fueron alimentadas con la misma dieta con 18% de PC y 40% de PNDR del 1 a los 56 DEL. El CMS y la PL durante los 56 DEL fueron más altos para las vacas que consumieron 12%PC:26% PNDR comparado con cualquiera de las otras dietas. La proteína adicional de 12 a 26% en el preparto no alteró el contenido de grasa, el porcentaje de proteína de la leche o la concentración de urea. Además, no influyó en la concentración de triglicéridos hepáticos, glucosa, calcio, β -hidroxibutirato, y AGNE. Los datos indican efectos residuales de la proteína dietética preparto en el consumo posparto y en la PL apuntando los efectos benéficos de mantener la proteína de la dieta en 12% para vacas lecheras en la gestación avanzada.

Metabolismo de proteína de la glándula mamaria. La secreción de proteínas de la leche, inmediatamente después del parto ocurren a tasas muy altas que de no existir incrementos igualmente dramáticos en el consumo de alimento (aproximadamente 300%) y las regulaciones (altas y bajas) de AA en tejidos no-mamarios y el metabolismo de proteínas, la vaca rápidamente alcanzaría una crisis metabólica por la desaparición de sus reservas proteínicas.

Aproximadamente el 90% de los AA de la leche son tomados directamente de la sangre por la glándula y únicamente un 10% son sintetizados por *síntesis de novo* en la misma glándula. La coordinación del metabolismo acelerado forma la base de los arreglos homeorreticos de la vaca (Bauman y Currie, 1980), para dirigir los nutrientes

hacia las rutas metabólicas que permiten niveles altos de PL sin descuidar otras funciones vitales poco relacionadas con la glándula mamaria. Algunos de los tejidos relacionados con el metabolismo cambian dramáticamente en las primeras semanas de lactancia, incluyendo incrementos sustanciales en la masa proteínica de la GM (aproximadamente 10 veces), el tejido esplácnico (incluye rumen, intestinos e hígado, de +11 a 28% vs. Vacas secas), y reducciones en proteína de la canal, la cabeza y los pies (Baracos, 1990).

Los cambios anteriores fueron relacionados con alteraciones de las tasas absolutas y fraccionales de la síntesis de proteína por los tejidos, sin que se conozca la proporción de degradación de proteína de los tejidos mencionados (Bequette *et al.*, 1998). En la lactancia avanzada hay evidencia de que el agotamiento y el relleno de los tejidos son regulados por la actividad proteolítica de los mismos. Posiblemente, la insulina inhiba la hidrólisis proteínica en el músculo de la vaca lechera actuando directamente en el músculo esquelético (Larbaud *et al.*, 1996). La acción inhibitoria de insulina incrementa conforme avanza la lactancia y aparentemente puede ser mediada ó reducida por la presencia de AA.

Al inicio de la lactancia, el consumo de proteína y energía son típicamente inadecuados para apoyar la producción de proteína de la leche. En dichas circunstancias, el agotamiento de la proteína de la canal es un complemento importante para la proteína de la dieta, y los AA de la proteína microbiana para mantener un suministro adecuado de AA a la glándula mamaria, y de carboles para la gluconeogénesis hepática. En la vaca lechera la movilización de proteína tisular es capaz de suministrar de 90 a 430 g de AA/d, lo que debiera considerarse prácticamente para balancear y determinar el suministro de los AA (Reynolds *et al.*, 2003; Bequette *et al.*, 1998).

La disponibilidad de los AA absorbidos para síntesis de leche son también localmente limitados. Por ejemplo, Black *et al.* (1990) determinaron el grado de oxidación de 20 AA en el cuerpo completo de la vaca lechera y observaron que los AA tuvieron rangos variables de oxidación entre 3 y 42%. Los AA más limitantes para la producción de leche (His, Lys, Met, Phe y Thr) conformaron un grupo de débilmente oxidados (< 7%). Recientemente, Reynolds *et al.* (2003) observaron que el tejido esplácnico removi6 15% de los 600 g de una mezcla de AA que fueron depositados en la vena mesentérica de la vaca lechera. De los AA que escaparon del metabolismo del tejido esplácnico (510 g/d), únicamente 36% fueron recuperados en la proteína de la leche. El resto representa los usos alternativos por tejido metabólicos diferentes a la GM o en su defecto por acciones catabólicas que están directamente o indirectamente relacionados con la formación de componentes de leche. Como se indicó anteriormente, la GM toma AA de varios tejidos con la finalidad de finalizar el proceso de formación de proteínas. La habilidad de la GM depende de la habilidad genética de la vaca.

Regulaciones hormonales durante el periodo de transición y la lactancia

Muchas de las adaptaciones metabólicas descritas en las secciones anteriores, como el incremento en la movilización de ácidos grasos, el metabolismo del tejido adiposo, el hígado, el músculo esquelético, los cambios en el ambiente ruminal, y el inicio de la lactogénesis, son regulados por hormonas homeorreticas y agentes adrenérgicos. Las primeras evidencias fueron relacionadas con GH, insulina, prolactina y estradiol, y más recientemente se incluyeron otras hormonas como la IGF-1, leptina y neuropéptidos como el Y y el YY.

En un estudio realizado por Block *et al.* (2001) se demostró que la reducción de IGF-1 en el plasma sanguíneo se inicia cuando el CMS empieza a declinar durante la gestación avanzada. Posterior al parto, la secreción de leche es el principal determinante del balance de energía, mientras que las concentraciones plasmáticas de IGF-1 permanecen bajas en las primeras semanas de lactancia independientemente del incremento en el CMS. En el periodo inmediato al parto, la caída de insulina en el plasma es prácticamente igual a la caída del balance de energía, sugiriendo un papel de mediador entre el balance de energía y la concentración plasmática de IGF-1.

Rhoads *et al.* (2004) indicaron que la infusión de insulina 28 días antes y 10 días después del parto casi duplicó la concentración plasmática de IGF-1 y los niveles hepáticos de mRNA IGF-1. En el hígado, dichas respuesta fueron asociadas con incrementos en el número de receptores de GH (GHR), mientras que la abundancia de mediadores intracelulares de acciones de GH (JAK2, STAT5, o STAT3) no fueron afectados. La insulina también duplicó la abundancia de GHR en el tejido adiposo, indicando que dicho efecto no es específico al hígado. Estos resultados destacan la posibilidad de que la insulina regule la eficiencia de GH, no únicamente en el hígado sino también en el tejido adiposo de la vaca lechera, donde la insulina cumpla las funciones de termostato de la síntesis de GHR.

La demanda excesiva de nutrientes propiciada por el inicio de la lactancia, también promueve cambios adaptativos en los mecanismos periféricos. Por ejemplo, la hypoinsulinemia y la reducida respuesta a insulina por el músculo esquelético y el tejido adiposo se presentan simultáneamente al inicio de la lactancia (Bell y Bauman, 1997). La integración de dichas adaptaciones es incrementar la disponibilidad de glucosa de la

GM donde el consumo de la misma es independiente de la insulina (Bauman y Currie, 1980).

El Sistema Nervioso Central (SNC) también participa en la regulación de las hormonas y los agentes adrenérgicos durante la transición de la vaca. La conexión entre los niveles de energía y las señales al hipotálamo para activar o desactivar los centros de consumo y de saciedad originaron relaciones nuevas y diversas en los mecanismos de control. Una relación nueva fue el descubrimiento de la leptina, una hormona sintetizada casi exclusivamente en el tejido adiposo. Contrariamente a otras hormonas, la leptina actúa preponderantemente en las regiones del cerebro involucrados en el metabolismo de la energía incluyendo el núcleo arcuato, el área dorsomedial y ventromedial del hipotálamo. Ahima y Flier (2000) propusieron que una caída de los niveles plasmáticos de leptina promueve señales al SNC del nivel insuficiente ó excesivo de energía en la periferia.

Durante el periodo de transición, paralelo a los niveles de IGF-1, los niveles plasmáticos de la leptina son reducidos alrededor del parto en las vacas lecheras. La reducción en los niveles de leptina en la gestación avanzada o al inicio de la lactancia fue relacionado con la supresión parcial o total de varias adaptaciones como la baja funcionalidad del aparato reproductor, el sistema inmune y la reducción de la eficiencia metabólica (Vernon y Houseknecht, 2000; Ahima y Flier, 2000).

Los factores de la reducción plasmática de leptina alrededor del parto e inicios de la lactancia no han sido completamente caracterizados. Aparentemente, el balance negativo de energía después del parto, propiciado por el dramático incremento del inicio de la producción de leche y un inadecuado incremento del CMS, promueven la caída de leptina alrededor del parto (Block *et al.*, 2001; Liefers *et al.*, 20003). La caída de

insulina en el periodo de transición que es similar a la reducción de GH en el plasma, sugieren que ambas hormonas puede regular el papel de leptina en la vaca periparturienta.

Recientemente, Leury *et al.* (2003) indicaron que durante la preñez tardía (21 días antes de parto) y el inicio de la lactancia (siete días posparto), la infusión de insulina (1 µg/kg de PV/h) promovió un incremento de leptina que alcanzó niveles máximos a las 24 h durante ambos periodos. El incremento fue mayor a finales de la gestación comparado con el inicio de la lactancia (2.4 vs. 0.4 ng/mL). Los resultados sugieren que la insulina incrementa los niveles de leptina plasmática por una estimulación de síntesis en el tejido adiposo durante la gestación avanzada y solo tiene efectos marginales en la lactancia temprana. Otros factores, como un incremento en la respuesta del tejido adiposo a β -adrenérgicos, posiblemente contribuyan a la reducción de la leptina plasmática al inicio de la lactancia de las vacas lecheras.

Referencias

- Agenäs, S., E. Burstedt, and K. Holtenius. 2003. Effects of feeding intensity during the dry period. 1. Feed intake, body weight, and milk production. *J. Dairy Sci.* 86:870-882.
- Ahima, R. S. and J. S. Flier. 2000. Leptin. *Annu. Rev. Physiol.* 62:413-437.
- Baracos, V. E., J. Brun-Bellut, and M. Marie. 1991. Tissue protein synthesis in lactating and dry goats. *Br. J. Nutr.* 66:451-465.
- Bauman, D. E. and W. B. Currie. 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.* 63:1514-1529.
- Bell, A. W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 73:2804-2819.

- Bell, A. and D. E. Bauman. 1997. Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia*. 2:265-278.
- Bequette, J. B., F. R. C. Backwell, and L. A. Crampton. 1998. Current concepts of amino acid and protein metabolism in the mammary gland of the lactating ruminants. *J. Dairy Sci*. 81:2540-2559.
- Black, A. L., R. S. Anand, M. L. Bruss, C. A. Brown, and J. A. Nakagiri. 1990. Partitioning of amino acids in lactating cows: oxidation to carbon dioxide. *J. Nutr*. 120:700-710.
- Block, S. S., W. R. Butler, R. A. Ehrhardt, A. W. Bell, M. E. Van Amburgh, and Y. R. Boisclair. 2001. Decreased concentration of plasma leptin in periparturient dairy cows is caused by negative energy balance. *J. Endocrinol*. 171:339-348.
- Boisclair, Y. R., D. G. Grieve, O. B. Allen, and R. A. Curtis. 1987. Effect of prepartum energy, body condition and sodium bicarbonate on health and metabolites of Holstein cows and early lactation. *J. Dairy Sci*. 70:2280-2290.
- Broadwell, R. D. and M. W. Brightman. 1976. Effect of peroxidase into neurons of the central and peripheral nervous system from extracerebral and cerebral blood. *Comp. J. of Physiol*. 166: 257-283.
- Cupples, A. W. 2003. Peptides that regulate food intake. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol*. 284:1370-1374.
- Dann, H. M., G. A. Varga, and D. E. Putnam. 1999. Improving energy supply to late gestation and early postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci*. 82:1765-1778.
- Dewhurst, R. J., J. M. Moorby, M. S. Dhanoa, R. T. Evans, and W. J. Fisher. 2000. Effects of altering energy and protein supply to dairy cows during the dry period. 1. Intake, body condition, and milk production. *J. Dairy Sci*. 83:1782-1794.
- Dirksen, G. U., H. G. Liebich, and E. Mayer. 1985. adaptive changes of the ruminal mucosa and their functional and clinical significance. *Bov. Practice*. 20:116-120.
- Dorshorst, M. E., and R. R. Grummer. 2002. Effects of day relative to parturition and dietary crude protein on rumen fermentation in prepartum transition cows. *J. Dairy Sci*. 85:2290-2298.
- Drackley, J. K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? *J. Dairy Sci*. 93:2259-2273.

- Drackley, J. K., T. Overton, and G. N. Douglas. 2001. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 84(Suppl.):E100-E112.
- Dube, M. G., A. Sahu, P. S. Kalra, and S. P. Kalra. 1992. Neuropeptide Y release is elevated from the microdissected paraventricular nucleus of food-deprived rats: an in vitro study. *Endocrinology* 131 (2): 684-688.
- Emery, R. S., J. S. Liesman, and T. H. Herdt. 1992. Metabolism of long-chain fatty acids by ruminant liver. *J. Nutr.* 122:832-837.
- Greenfield, R. B., M. J. Cecava, T. R. Johnson, and S. S. Donkin. 2000. Impact of dietary protein amount and rumen undegradability on intake, peripartum liver triglyceride, plasma metabolites, and milk production in transition dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83:703-710.
- Herdt, T. H. 2000. Ruminant adaptation to negative energy balance, influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 16:215-230.
- Ingvarsen, K. L. and J. B. Andersen. 2000. Symposium: Dry matter intake of lactating dairy cattle. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci.* 83:1573-1597.
- Kalra, S. P., M. G. Dube, A. Sahu, C. P. Phelps, and P. S. Kalra. 1991. Neuropeptide Y secretion increases in the paraventricular nucleus in association with increased appetite for food. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 1:88(23):10931-10935.
- Liefers, S. C., R. F. Veerkamp, M. F. W. te Pas, C. Delavaud, Y. Chilliard, and T. van der Lende. 2003. Leptin concentrations in relation to energy balance, milk yield, intake, live weight, and estrus in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2003 86: 799-807.
- Leury, B. J., L. H. Baumgard, S. S. Block, N. Segoale, R. A. Ehrhardt, R. P. Rhoads, D. E. Bauman, A. W. Bell, and R. Boisclair. 2003. Effect of insulin and growth hormone on plasma leptin in the periparturient dairy cows. *Am. J. Physiol.* 285:R1107-R1115.
- Muller, L. D. 1999. Feeding Management Strategies. *In: Large Dairy Herd Management.* Van Horn, H. H. and C. J. Wilcox. Eds. American dairy Science Association. Savoy, IL, USA. Pp. 326-335.
- NRC. 2001. Nutrients Requirements of Dairy Cattle (7th Ed.) National Academy Press. Washington, D. C. USA.

- Olsson, G., E. Emanuelson, and H. Wiktorsson. 1998. Effect of different nutritional levels prepartum on subsequent performance of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 53: 270-290.
- Overton, T. R. and M. R. Waldron. 2004. Nutritional management of transition dairy cows: strategies to optimize metabolic health. *J. Dairy Sci.* 87(E. Suppl.):E105-E119.
- Park, A. F., J. E. Shirley, and E. C. Titgemeyer. 2002. Effect on protein level in prepartum diets on metabolism and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:1815-1828.
- Parker, E., M. Van Heek, and A. Stamford. 2002. Neuropeptide Y receptors as targets for anti-obesity drug development: perspective and current status. *Eur. J. Pharmacol.* 12:440 (2-3): 173-87.
- Pullen, D. L., D. L. Palmquist, and R. S. Emery. 1989. Effect of days of lactation and methionine hydroxy analog on incorporation of plasma free fatty acids into plasma triglycerides. *J. Dairy Sci.* 72:49-58.
- 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.
- Reynolds, C. K., B. Durst, B. Lupoli, D. J. Humphries, and D. E. Beever. 2004. Visceral mass tissue and rumen volume in dairy cows during the transition from late gestation to early lactation. *J. Dairy Sci.* 87: 961-971.
- Reynolds, C. K., P. C. Aikman, B. Lupoli, D. J. Humphries, and D. E. Beever. 2003. Splanchnic metabolism of dietary cows during the transition from late gestation through early lactation. *J. Dairy Sci.* 86:1201-1217.
- Rhoads, R. R., J. W. Kim, B. J. Leury, L. H. Baumgard, N. Segoale, S. J. Frank, D. E. Bauman, and Y. R. Boisclair. 2004. Insulin increases the abundance of the growth hormone receptor in liver and adipose tissue of periparturient dairy cows. *J. Nutr.* 134:1020-1027.
- Seal, C. J., and C. K. Reynolds. 1993. nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants. *Nutr. Res. Rev.* 6:185-208.
- Stellar, E. 1994. The physiology of motivation. *Physiol Review.* 101: 301-311.
- Swartz, M. W., S. C. Woods, D. Porte, Jr., R. J. Seeley, and D. G. Baskin. 2000. Central nervous system control of food intake. *Nature.* 404: 661-671.
- Tatemoto, K. 1982. Neuropeptide Y: Complete amino acids sequence in the brain peptide. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 79:5485-5489.

- Vernon, R. G. and K. L. Houseknecht. 2000. Adipose tissue: beyond an energy reserve. In: Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction. P. B. Cronjé (Ed.). CABI. Willingford, UK. Pág. 171-186.
- Xu, B., B. H. Li, N. E. Rowland, and S. P. Kalra. 1995. Neuropeptide Y injection into the fourth cerebroventricle stimulates c-Fos expression in the paraventricular nucleus and other nuclei in the forebrain: effect of food consumption. Brain Res. 6:698(1-2):227-231.

CAPÍTULO III

Efecto del nivel de energía y proteína de la dieta en el consumo, cambios de peso y producción de leche de vacas Holstein en el periodo de transición³

Effect of dietary energy and protein level on intake, body weight changes and milk yield of Holstein cows in transition period

D. Gómez-Pérez^{*}, R. López-Ordaz^{*4}, J. G. García-Muñoz^{*}, G. D. Mendoza-Martínez[†], A. Lara-Bueno[‡] and J. Jaimes-Jaimes[‡]

^{*1}Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P 56230

[†] Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

[‡] Cooperativa Agropecuaria y Forestal Chapingo, S.C. de R.L. Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P 56230.

Resumen

El objetivo fue comparar el efecto de diferentes densidades de EN_L y PC de la dieta en el peso vivo (PV, kg), la ganancia diaria de peso (GDP, kg/día), el consumo de materia seca (CMS, kg), el consumo de EN_L (Mcal/kg), en el periodo seco y su influencia en el PV (kg), los cambios de PV (kg/día), el CMS, la producción de leche (PL, kg), el consumo de EN_L y la eficiencia (de conversión del alimento a leche; %) de vacas Holstein durante 105 días de lactancia. En el estudio se utilizaron 30 vacas Holstein (PV

³El experimento fue realizado por el Posgrado en Producción Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

^{*}Departamento de Zootecnia, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco, Km 38.5 Chapingo, Estado de México. C.P. 56230. [†]Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

⁴ Correspondencia : R. Lopez-Ordaz; e-mail rlopez@correo.chapingo.mx, rlopezor@yahoo.com.

= 703.4 ± 16.3 kg, de ocho semanas antes del parto proyectado por registros), las cuales fueron estratificadas por PV y aleatoriamente asignadas a uno de tres tratamientos. En el periodo seco, las vacas fueron alimentadas con uno de tres tratamientos que contenían 1.28 y 15.8, 1.58 y 18.7, 1.86 y 19.3, Mcal/kg y % de PC, respectivamente, para las dietas baja, media y alta. En periodo posparto, las vacas fueron alimentadas con 1.46 y 16.9, 1.77 y 19.2, y 2.10 y 19.5, Mcal/kg y % de PC, respectivamente, para las dietas baja, media y alta. El CMS se registró diariamente en forma individual, mientras que el PV y la GDP se registraron semanalmente durante el periodo de estudio. En el periodo seco, el PV no fue afectado ($P > 0.05$) por los tratamientos. Sin embargo, se observó un efecto de la semana de gestación ($P < 0.05$). Los tratamientos influyeron positivamente ($P < 0.05$) en la GDP. Las vacas que consumieron las dietas con contenido alto y bajo mostraron GDP mayores a las que consumieron la dieta media. El efecto de los tratamientos no influyó ($P > 0.05$) en el CMS de la semana 7 a la 4 antes del parto. En contraste, el CMS fue diferente ($P < 0.05$) para los tratamientos de la semana -3 al parto, donde se observó una caída dramática del mismo. En el periodo posparto, las vacas que consumieron la dieta alta y media fueron más pesadas ($P < 0.05$) que las vacas alimentadas con la dieta baja. El CMS fue afectado por los tratamientos ($P < 0.05$). Las vacas alimentadas con la dieta alta mostraron consumos altos, los de nivel medio fueron intermedios y los de nivel bajo fueron bajos. Se detectó una interacción tratamiento x semana ($P < 0.05$) en la PL. Las vacas alimentadas con la dieta alta produjeron 7.0 y 15.3 kg de leche por día más que las vacas que consumieron las dietas media y baja, respectivamente. Similarmente, las dietas experimentales influyeron ($P < 0.05$) en la eficiencia de PL. Las vacas que consumieron la dieta alta fueron más eficientes para convertir el alimento a leche que las vacas que consumieron las dietas media y baja. En

resumen, los niveles de proteína y energía utilizados en el periodo preparto se asociaron con incrementos en el CMS, el consumo de energía y la GDP. Durante el periodo posparto, los incrementos de energía y proteína se asociaron con incrementos en el PV, CMS, el consumo de energía, la PL y la eficiencia de PL.

Palabras clave: periodo de transición, energía, proteína, producción de leche

Abstract

The objective was to study the effect of increasing dietary NE_L and CP levels on BW (kg), ADG (kg/d) and DMI (kg) in the dry-off period, and its influence on BW, BW changes (kg/d), DMI, energy intake (EI, Mcal/kg), milk yield (MY), MY efficiency (MYE) during 105 days on milk. Thirty Holstein cows (BW = 703.4 ± 16.3 kg; eight weeks before expected calving) were stratified by BW and randomly assigned to one of three treatments. During the dry-off period, cows were individually fed with one of three diets containing 1.28 and 15.8, 1.58 and 18.7, or 1.86 and 19.3 Mcal/kg and % CP, respectively for the low, medium and high diets. After calving, cows were fed 1.46 and 16.9, 1.77 and 19.2, or 2.10 and 19.5 Mcal/kg and % CP, respectively, for the low, medium and high diets. Daily DMI was individually recorded, whereas BW, and ADG were recorded weekly. No treatment effect ($P>0.05$) was observed on BW during the dry period. However, a week of gestation effect ($P<0.05$) was observed. Likewise, a treatment effect ($P<0.05$) was observed for ADG, cows fed high and low diets showed higher gain than those fed medium diets. No treatment effect ($P>0.05$) was observed for DMI from week 7 through week 4 before calving. However, DMI from week -3 through calving was higher ($P<0.05$) for cows on the high level diet. During the pospartum

period, cows on the high and medium level diet were heavier ($P<0.05$) than those fed low diets. No treatment effect ($P>0.05$) was observed for ADG. However, cows on the high level diet had higher ($P<0.05$) DMI than the medium and low diet cows. A treatment x week interaction ($P<0.05$) indicates differences for MY among treatments; on average, daily MY of cows fed the high diet was 7.0 and 15.3 kg higher than those fed on the medium or low diets, respectively. In conclusion, during the dry-off period increasing dietary levels of EN_L and CP increased ADG, energy intake and DMI. Likewise, during the postpartum period, increasing the levels of EN_L and CP were associated with increased BW, DMI, MY and MYE.

Key words: transition period, energy, protein, milk yield

Introducción

La vaca lechera experimenta grandes fluctuaciones en el consumo de alimento, el balance neto de energía y las reservas corporales a través de la vida, especialmente durante el periodo de transición. Los desórdenes metabólicos y problemas de salud son comunes durante este tiempo (Drackley, 1999). Los niveles altos de producción de leche poco después del parto son sostenidos casi exclusivamente con los lípidos provenientes del tejido adiposo removido (Agenäs *et al.*, 2003), como un suplemento del consumo de niveles inadecuados de energía. En el mismo periodo de transición, los defectos en los mecanismos que regulan la movilización y la utilización de los almacenes de energía pueden tener efectos dañinos sobre la salud y la eficiencia productiva de las vacas (Boisclair *et al.*, 1987). La demanda y la disponibilidad de energía (ingerida y endógena) deben considerarse conjuntamente para lograr la sobrevivencia, la salud y la eficiencia de la producción.

El sistema nervioso central tiene un papel importante en la integración de las señales periféricas para coordinar los factores determinantes del balance de energía (Kalra *et al.*, 1999). Por ejemplo, los requerimientos de glucosa y energía metabolizable incrementan de dos a tres veces del día 21 antes del parto al día 21 después del parto (Drackley, 2001). Una serie de cambios endocrinos pueden ser parcialmente responsables de la reducción acelerada en el consumo de materia seca dos semanas antes del parto (Ingvarsen y Andersen, 2000), de desórdenes metabólicos asociados con la salud de los animales y la reducción de la producción de leche y el comportamiento reproductivo de los animales. La transición subóptima del periodo seco a la lactancia puede reducir la producción de leche al pico y la persistencia y por lo tanto, la producción total, causando pérdidas económicas (Rabelo *et al.*, 2003). De forma que la nutrición y el manejo apropiados durante el periodo de transición pueden mejorar el comportamiento productivo (Drackley, 1999).

En las cuencas lecheras nacionales, algunas de las vacas llegan al parto con condiciones corporales pobres, donde comúnmente reciben dietas con forrajes fibrosos que no les permiten cubrir las necesidades de mantenimiento y gestación. En este escenario, la vaca no alcanza a recuperar las reservas corporales de grasa y proteína, no estimula la población microbiana ruminal para procesar dietas con carbohidratos fácilmente fermentables y no prepara sus rutas endocrinas y metabólicas para responder a los requerimientos de la glándula mamaria posparto, lo que típicamente conduce a una serie de problemas metabólicos alrededor del parto, con la consecuente reducción en la producción de leche (PL) y daños a la economía del productor. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar el efecto de diferentes densidades de energía neta de lactancia (EN_L) y proteína (PC) de la dieta en los cambios de peso vivo

(PV), el consumo de materia seca (CMS), el consumo y el balance de energía en el periodo preparto y su influencia en el PV, los cambios de PV, el CMS, el consumo de EN_L , la PL y el comportamiento reproductivo de vacas Holstein durante el periodo posparto.

Materiales y métodos

Descripción de los animales y procedimientos experimentales

El estudio se realizó en el establo lechero “18 de Julio” propiedad de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en el municipio de Tlahualilo, Durango. El sitio se ubica entre las coordenadas 25°54'07" latitud norte y 103°35'09" longitud oeste. La altura sobre el nivel del mar es de 1,137 m, con clima desértico. La temperatura media anual es de 21.1°C con una precipitación pluvial de 239 mm anuales, distribuyéndose principalmente de julio a septiembre (García, 1988).

Los animales utilizados en el presente estudio fueron seleccionados de un grupo de aproximadamente 75 vacas. El fin fue utilizar animales reportados como gestantes, de ocho semanas antes del parto, saludables y con condición corporal de 3.0 (escala 1 = emasiada y 5 = muy gorda). El grupo experimental consistió de 30 animales, de segunda lactancia y con un peso corporal promedio de 703.4 ± 16.3 kg. Las vacas se alojaron en un corral exclusivo para vacas secas desde aproximadamente 77 días antes de la fecha probable de parto hasta los 105 días en leche (DEL). Después de recibir una dieta de adaptación por 17 días, los animales fueron alimentados con una dieta completa (Cuadro 1) la cual se ofreció tres veces al día a las 5:00, 13:00 y 21:00 horas. El procedimiento

consistió en fraccionar la dieta en tres porciones y suministrarlas a las vacas en los horarios indicados.

Durante el periodo preparto, las vacas se asignaron aleatoriamente a una de tres dietas que contenían 1.28 y 15.8, 1.58 y 18.7, y 1.86 y 19.3 Mcal/kg MS de EN_L y % de PC, respectivamente, para los tratamientos bajo, medio y alto (Cuadro 1). Después del parto, las dietas ofrecidas contenían 1.46 y 16.9, 1.77 y 19.2, y 2.1 y 19.5 Mcal/kg de EN_L y % de PC, respectivamente, (Cuadro 1).

Los animales se alimentaron individualmente, desde los 77 días antes del parto hasta los 105 días de la lactancia. El alimento se preparó diariamente en un carro mezclador y se almacenó en forma separada para ser pesado y ofrecido a los animales. La alimentación se ofreció en contenedores de plástico (capacidad de 25 a 30 kg de MS), los cuales se marcaron individualmente con el número del tratamiento correspondiente. Dichos contenedores fueron utilizados como comederos individuales. El alimento no consumido se colectó y se pesó diariamente para estimar el consumo de alimento por animal por día.

El peso de las vacas se registro cada ocho días durante todo el periodo experimental, el pesaje se realizó después de ocho horas de ayuno y siempre antes de la ordeña.

Colección de las muestras y calidad de las dietas

Las muestras del alimento consumido y el no consumido de cada vaca se colectaron cada semana desde 60 días antes de la fecha probable de parto hasta los 105 días en leche. Las muestras fueron compuestas para cada vaca para estimar la variabilidad semanal. Cuando fue necesario, el alimento ofrecido se ajustó cada semana.

Después de la colección, las muestras fueron pesadas y secadas a 55 - 60 °C en una estufa de aire forzado por 48 horas para determinar la materia seca de campo. Posteriormente, las muestras de alimento fueron molidas utilizando un molino Willey (A. H. Thomas, Philadelphia, PA) de forma que pasaran por una criba de 1 mm de diámetro. Los procedimientos utilizados se describen en el manual de laboratorio de la Universidad Estatal de Nuevo México (Gallyean y May, 1996). El porcentaje de MS se determinó usando una estufa a 100 °C durante 24 horas (AOAC, 1990). Posteriormente, las muestras fueron quemadas en la mufla a 500 °C para determinar el contenido de materia orgánica (MO) y cenizas. El contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinó usando el método de Goering y Van Soest (1970). Adicionalmente, las muestras se analizaron para determinar el contenido de PC (%) usando el método Kjeldahl (AOAC, 1990).

Las vacas fueron ordeñadas diariamente en dos ocasiones 3:00 y 15:00 horas en una sala doble 6 en espina de pescado (Alpha Laval™, St. Louis, MO). La rutina de ordeña incluyó el lavado de las ubres con desinfectantes, pre-sellador, despuntado, ordeño y sellado. El procedimiento fue similar durante los 105 días de ordeño.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos de los datos fueron realizados con los procedimientos de SAS (SAS, 2001). El consumo diario de MS, el PV, el consumo de EN_L, los cambios de PV, PL y la eficiencia para PL se analizaron utilizando el procedimiento MIXED de SAS para medidas repetidas. El modelo incluyó el efecto de tratamiento, semana y la interacción tratamiento x semana, con vaca anidada dentro de tratamiento como el término repetido.

La estructura de covarianza más apropiada de los datos fue seleccionada para cada análisis incluyendo las estructuras de simetría compuesta, autorregresiva, autorregresiva de primer orden, autorregresiva heterogénea y la covarianza no-estructurada usando los criterios de Akaike y los criterios bayesianos de Swartz (Littell *et al.*, 1996). Por ejemplo, la estructura de covarianza autorregresiva de primer orden fue la más apropiada para el consumo de MS, mientras que la covarianza de simetría compuesta fue la más apropiada para el PV (kg), los cambios de peso PV (kg/día), el consumo de EN_L, PL y la eficiencia productiva. Cuando hubo efecto de tratamiento, semana o la interacción tratamiento x semana ($P < 0.05$) las medias fueron separadas usando comparaciones de las medias de mínimos cuadrados de PDIFF de SAS.

Los contenidos de PC, FDA, FDN y MS de los alimentos ofrecidos fueron analizados con el procedimiento MIXED de SAS para medidas repetidas. La covarianza de simetría compuesta fue la más apropiada para PC, FDN, FDA, y MS.

El peso de los terneros al nacimiento, los días al primer celo observado, los días abiertos y número de servicios por concepción de las vacas fueron analizados con el procedimiento MIXED de un diseño completamente al azar con tratamiento como efecto principal. La covarianza de simetría compuesta fue la estructura más apropiada para el peso de los terneros al nacimiento, los días al primer celo observado, el largo del ciclo estral, los días abiertos y número de servicios por concepción.

Resultados

Las vacas utilizadas en el presente experimento fueron reportadas como gestantes, con buena salud, y con condición corporal de 3.0 considerada como apropiada

para el periodo de secado, ocho semanas antes del parto proyectado por registros. Las dietas experimentales que se utilizaron como tratamientos fueron descritas anteriormente (Cuadro 1). El peso vivo (PV) inicial promedio fue de 703.4 ± 16.3 kg y no hubo diferencias ($P>0.05$) entre los grupos de tratamientos al inicio del estudio. El PV de las vacas en las últimas ocho semanas antes del parto no fue afectado ($P>0.05$) por el tratamiento preparto. Sin embargo, se detectó un efecto ($P<0.05$) de la semana de gestación (Figura 4). El PV de las vacas incrementó durante el periodo seco, las vacas que consumieron dietas altas incrementaron 47.3, las de contenido medio 20.3 y las de contenido bajo 37.3 ± 7.8 kg de PV (Figura 4). Como una condición natural al parto, todas las vacas perdieron peso en la semana -1 y + 1 alrededor del parto. Los animales que consumieron dietas con contenido alto perdieron 79.7, las del medio 45.0 y las del bajo 78.3 ± 20.2 kg de PV.

Las vacas que consumieron los contenidos altos (1.86 Mcal de EN_L/Kg y 19.3 % de PC) y bajos (1.28 Mcal de EN_L/Kg y 15.8% de PC) mostraron GDP más altas ($P<0.05$) que las vacas con la dieta intermedia (1.58 Mcal de EN_L/Kg y 18.7 % de PC; Figura 5) durante el periodo seco.

El consumo de materia seca (CMS) fue similar ($P>0.05$) de las semanas 7 a la 4 antes del parto. En contraste, las vacas de la dieta alta mostraron ($P<0.05$) consumos más altos de la semana -3 al parto, donde se observó una caída dramática del mismo (Figura 6).

En el periodo posparto, existió una interacción tratamiento x semana ($P<0.05$), las vacas que consumieron el nivel bajo (1.46 Mcal de EN_L y 16.9% de PC) perdieron más peso a partir de la semana cinco, que las vacas del tratamiento medio (1.77 Mcal/kg y 19.2% de PC) y alto (2.10 Mcal de EN_L y 19.5% de PC) durante los 105 días de

lactancia. En forma paralela, los cambios de PV de las vacas también fueron afectados por la semana de la lactancia ($P<0.05$).

En el mismo periodo posparto, el efecto de los tratamientos influyó ($P<0.05$) en el CMS de las vacas durante los 105 DEL (Figura 6). Las vacas que consumieron dietas completas con contenido alto alcanzaron el consumo máximo (20.6 ± 0.69 kg de MS) alrededor de la semana 9; las del contenido medio (19.23 ± 0.70) en la semana 13; y las del nivel bajo (16.32 ± 0.40) en la semana 12 posparto. Las variaciones en el CMS fueron también influenciados por la semana de lactancia ($P<0.05$).

Contrario a lo esperado, el efecto de las dietas no influyó ($P>0.05$) en los cambios de PV, expresados como cambios de PV (kg/día) durante los 105 DEL. Todos los animales perdieron peso independientemente de los tratamientos durante el periodo experimental (Figura 4).

La interacción tratamiento x semana afectó ($P<0.05$) la PL. Las vacas que consumen contenidos altos, en promedio produjeron volúmenes más altos de leche que las vacas que consumen las dietas intermedia y baja (Figura 7) y esta diferencia varió a través de las semanas de producción. Las vacas que consumen la dieta baja alcanzaron el pico de producción máxima (21.5 kg/día) a la semana seis posparto; las del nivel intermedio lo alcanzaron (29.81 kg/día) a la semana cinco; mientras que las altas lo alcanzaron (37.0 kg/día) a la semana siete de lactancia.

La eficiencia de conversión de alimento a leche (kg de leche/kg de alimento) mostró un comportamiento similar a la PL (Figura 8). Sin embargo, el efecto de los tratamientos influyó ($P<0.05$) en la eficiencia de conversión del alimento a leche. Las vacas que consumieron dietas con contenido alto fueron más eficientes, que las vacas de

los niveles medio y bajo, sin embargo, esta superioridad aumentó conforme se incrementó la semana de producción.

Discusión

El agotamiento de la proteína de tejidos lábiles y de reservas corporales de la vaca para apoyar la lactancia en las primeras semanas posparto, tuvo como consecuencia que varios autores propusieran, que el mejoramiento de las reservas de proteína y energía preparto pueden reducir la presencia o la severidad de los desórdenes metabólicos asociados con el parto. Lo anterior redundaría en el mejoramiento del comportamiento productivo durante la lactancia (Drackley, 1999; Overton y Waldron, 2004). Algunos investigadores han estudiado la influencia de la proteína dietética preparto en el comportamiento posparto (Dorshorst y Grummer, 2002; Park *et al.*, 2002); la inclusión de AA de sobrepaso (Wu *et al.*, 1997; Carson *et al.*, 1998), la densidad de energía en las dietas con carbohidratos fácilmente fermentables (Minor *et al.*, 1998; Dann *et al.*, 1999; Rukkwansuk *et al.*, 2000; Rabelo *et al.*, 2001; Broderick, 2003) ó el incremento en proteína no degradable en rumen (PNDR; Greenfield *et al.*, 2000). Los resultados observados en la literatura mencionada anteriormente, permiten generar dos situaciones. La primera se relaciona con el camino más apropiado para mejorar el estado proteínico de la vaca en el periodo preparto que es todavía incierto. La segunda, se relaciona con los efectos de la energía y proteína preparto en la acumulación del tejido corporal y con los cambios endocrinos y metabólicos en el comportamiento posparto, y con los requerimientos de la glándula mamaria asociada con su habilidad para obtener los nutrimentos requeridos en exceso por el inicio de la lactancia.

El objetivo del presente estudio fue comparar el efecto de diferentes densidades de EN_L y PC de la dieta en el PV, la GDP, el CMS y el consumo de energía en el periodo preparto, y su influencia en los cambios de PV, el CMS, el consumo de energía, la PL y la eficiencia de PL durante el periodo posparto de vacas Holstein. En otras palabras, el intento del presente estudio fue determinar si el suministro de PC y EN_L superior a las recomendaciones actuales (NRC, 2001) durante el preparto, influyen en las reservas de proteína y energía de la vaca durante la lactancia inmediata.

En el presente estudio, las vacas iniciaron el periodo seco con una condición corporal de 3.0 y fueron consideradas con el PV apropiado para dicho estado fisiológico, lo que puede explicar parcialmente, la no diferencia entre tratamientos en el PV de los animales durante el periodo seco (Cuadro 2). Otro factor que pudo haber contribuido en la no diferencia en PV es el tiempo reducido de alimentación de ocho semanas. La alimentación con dietas altas en EN_L por periodos de tiempo más prolongados pueden proporcionar resultados diferentes. Grummer *et al.* (1995) alimentaron vaquillas con una dieta estándar (59.7% de nutrientes digestibles totales, TDN) o con una dieta alta en energía (69.3%, NDT) durante 15 semanas antes del parto. La dieta alta en energía incrementó el PV (693.5 vs. 663.7 kg) y la calificación de la condición corporal; 3.72 vs. 3.55) al parto.

Los datos observados en el presente estudio son apoyados por los resultados de Greenfield *et al.* (2000) quienes observaron el efecto de las dietas preparto conteniendo 12% de PC y 26% de PNDR, 16% de PC y 26% de PNDR, 16% de PC y 33% de PNDR, ó 16% de PC y 40% de PNDR en el PV durante el periodo preparto. Las vacas que consumieron 12% de PC:26% de PNDR en la dieta preparto mostraron tendencia a

perder menos peso durante el posparto que las que fueron alimentadas con 16% de PC en cualquiera de sus combinaciones.

Las prácticas de alimentación modernas en el periodo seco buscan incrementar las reservas corporales de la vaca para apoyar las transiciones metabólicas asociadas con el periodo periparturiente (Ferrell *et al.*, 1976). Las ganancias de PV maternos de aproximadamente 0.6 ó 0.7 kg/día han sido recomendadas durante el periodo seco para proveer reservas energéticas precisas para la lactancia inmediata (Broster y Broster, 1984). Las ganancias de PV mayores de 1.1 kg/día corresponden al mantenimiento de la vaca debido a que el útero grávido gana aproximadamente 0.7 kg/d (Bell *et al.*, 1995) y la glándula mamaria (GM) alrededor de 0.5 kg (VandeHaar *et al.*, 1999). En el presente estudio, las vacas que consumieron las dietas con contenido medio (1.58 Mcal de EN_L/kg y 18.7% de PC) y alto (1.86 Mcal de EN_L/kg y 19.3% de PC) presentaron cambios de PV expresados en kg/día mayores comparadas con las vacas que consumieron dietas con contenido bajo (1.28 Mcal de EN_L/kg y 15.8% de PC; Figura 5) durante el periodo seco. Las diferencias en cambios de PV fueron esperadas debido al incremento en el consumo de energía con las concentraciones media y alta (Grummer *et al.*, 1995; NRC, 2001). Con excepción de las vacas que consumen el contenido medio, que tuvieron cambios de peso de 0.4 kg/día, los dos tratamientos restantes mostraron cambios de PV superior a los 0.90 kg/día, lo cual está en el rango sugerido para apoyar los requerimientos de la lactancia (Cuadro 2).

Varios estudios han indicado que el incremento en la cantidad de proteína disponible en la dieta de la vaca lechera durante el periodo seco puede conducir a un incremento en la tasa de producción de proteína durante la lactancia inmediata (Van Saun *et al.*, 1993; Minor *et al.*, 1998). La hipótesis más convincente indica que la causa

del fenómeno anterior es el efecto de la proteína corporal materna, misma que incrementa o se mantiene durante las últimas semanas de la gestación suministrando proteína extra, que potencialmente puede ser disponible para la vaca en la lactancia inmediata. La contribución de las reservas proteínicas a la lactancia en la vaca lechera es todavía no muy clara. Sin embargo, el contenido de proteína corporal varía durante la lactancia en forma similar al contenido de grasa corporal (Garnsworthy, 1988). Las ideas antes mencionadas todavía se mueven en el marco de las posibilidades, lo que está casi completamente demostrado es que al inicio de la lactancia, los requerimientos de nutrimentos para el crecimiento del feto son indispensables para la madre (ARC, 1980). Por lo tanto, los nutrientes son particionados para cubrir las necesidades del feto y probablemente para mamogénesis si el suministro de nutrientes no es limitado (ARC, 1980; Bell, 1995; NRC, 2001).

En el presente estudio, el incremento de PC de 15.8 a 19.3%, y de 1.28 a 1.86 Mcal de EN_L /kg en las últimas ocho semanas de gestación incrementó el consumo de alimento de 15% y de EN_L en 41% (Figura 6). Las vacas que consumieron las dietas con contenido alto mostraron consumos más altos que las vacas alimentadas con contenidos medio y bajo, lo que se explica, al menos parcialmente, por el incremento en la densidad de energía y proteína de la dieta. Todos los animales ganaron peso durante el periodo preparto, particularmente las vacas del nivel bajo, que mostraron GDP similares a las vacas del tratamiento alto con CMS menores.

La adición de carbohidratos fácilmente fermentables a las dietas en el periodo seco también participa en la explicación del CMS en el periodo preparto. En el presente estudio, la concentración de fibra detergente neutro (FDN) fue de 56.3, 40.5 y 34.9% para los contenidos bajo, medio y alto, respectivamente (Cuadro 1). Rabelo *et al.* (2003)

observaron que durante el parto (- 28 días), los animales que consumieron una dieta alta en energía (1.70 Mcal de EN_L; con 32% de FDN y 44% de carbohidratos no fibrosos) mostraron un incremento de 19.8% y de 21.5% en el CMS y EN_L comparado con los animales alimentados con una dieta baja en energía (1.58 Mcal de EN_L; con 40% de FDN y 38% de carbohidratos no fibrosos). La diferencia en el CMS fue relacionado con el incremento en la población microbiana y el desarrollo de papilas ruminales, lo que permitió una tasa de fermentación más rápida de los carbohidratos. Los resultados del estudio de Rabelo *et al.* (2003) son similares a los observados por Olsson *et al.* (1998), quienes indicaron que las vacas lecheras alimentadas con 27.4% de FDN incrementaron el CMS en 15% parto comparado con las que consumen dietas con 31.5% de FDN, en la última semana de gestación. Sin embargo, el incremento excesivo de las concentraciones de FDN puede resultar en efectos negativos en el CMS por un efecto de llenado del rumen (NRC, 2001). La sugerencia del NRC (NRC, 2001) fue que el nivel de NDF superior al 42.5 % fue considerado como excesivo. El exceso se relacionó con el llenado de la capacidad del rumen, como consecuencia el CMS se reduce considerablemente. Lo anterior, constituye una explicación parcial del CMS bajo de las vacas que consumen las concentraciones bajas comparadas con las de tratamientos medio y alto.

Los resultados de la presente investigación coinciden parcialmente con los obtenidos por VandeHaar *et al.* (1999), quienes indicaron que el incremento de la proteína y la densidad de EN_L de las dietas de 1.3 a 1.6 Mcal promovieron un incremento 14% y de 40% en el CMS y de EN_L, respectivamente, alrededor de la semana 2 antes del parto. El incremento en la densidad de energía de las dietas durante las últimas semanas parto incrementa el CMS y de energía, lo cual concuerda con

otros resultados similares observados por Minor *et al.* (1998), Dann *et al.*, (1999), Keady *et al.* (2001), y Holcomb *et al.* (2001).

Por el contrario, Greenfield *et al.* (2000) observaron que el incremento en PC de 12 a 16% y de PNDR de 26 a 40% en las dietas que fueron suministradas a las vacas 28 días antes de parto no influyeron en el CMS durante el mismo periodo. El CMS promedio posparto fue más alto durante los 56 DEL para vacas alimentadas con el nivel bajo (12% de PC y 26% de PNDR), consecuentemente, tendieron a producir más leche que las vacas en los tratamientos con 16% de PC. La proteína adicional en el preparto (12 vs. 16% PC) tendió a reducir la producción y la grasa de la leche. En contraste, la concentración de glucosa en el plasma, el Ca, la urea en sangre, β -hidroxibutirato y ácidos grasos no esterificados no fueron diferentes entre tratamientos. Los resultados indican efectos acumulados de la proteína de la dieta preparto sobre el consumo y la PL posparto, señalando un efecto benéfico del mantenimiento 12% de PC para vacas lecheras durante la gestación avanzada. Un suceso ampliamente conocido es de la gordura excesiva al parto, que ordinariamente conduce al incremento en la presencia de desórdenes metabólicos (Drackley, 1999; Overton y Waldron, 2004), el CMS posparto reducido (Agenäs *et al.*, 2003) incremento en el padecimiento del hígado graso (Greenfield *et al.*, 2000), la reducción en la PL y la actividad reproductiva de los animales (Garnsworthy, 1988).

En el presente estudio, durante el periodo posparto, el efecto de las dietas influyó significativamente en el PV de los animales. Las vacas que consumieron los niveles alto y medio fueron más pesadas que las alimentadas con el contenido bajo durante los primeros 105 DEL. La pérdida promedio de PV (la diferencia entre el PV medido inmediatamente después del parto y el peso a los 105 DEL) fue de 36.3, 49.1 y 73.6 kg

para los contenidos alto, medio y bajo, respectivamente (Figura 4). El suceso anterior sugiere que las vacas alimentadas con la dieta alta movilizan más reservas corporales debido a que ellas tienen un balance negativo de energía más grande que las vacas que consumen las dietas medias y altas (Rukkwansuk *et al.*, 2000).

En el presente estudio, el incremento de 16.9 a 19.5% de PC y de 1.46 a 2.10 Mcal/kg de EN_L durante los 105 DEL incrementó el CMS y de EN_L en 25% y en 37%, respectivamente. Las vacas que se alimentan con dietas de contenido alto mostraron CMS más altos que las vacas que consumen los contenidos medio y bajo, lo que se explica, al menos parcialmente, por el incremento en la densidad de energía y proteína de la dieta. Rinne *et al.* (1999) indicaron la no existencia de interacciones entre la producción de energía-correctada de la leche, proteína, complementación de concentrados y la digestibilidad de la MO en la alimentación de vacas lactantes que consumen ensilado de maíz en concentraciones variables de 49 a 65% de FDN. Recientemente, Broderick (2003) indicó la no existencia de interacciones entre CP y FDN. Lo que les permitió analizar los resultados de su estudio de lactancia como medias de mínimos cuadrados de las concentraciones de PC con respecto a las concentraciones de FDN y viceversa. En el presente estudio, los principales efectos en la producción observados fueron los incrementos lineales en el CMS, la producción de leche, y la eficiencia de conversión del alimento a leche.

Como se esperaba, en el presente estudio las vacas alimentadas con el contenido alto produjeron 20 y 44.6% más leche que los contenidos medio y bajo, respectivamente (Figura 7), además, fueron (Figura 8) más eficientes para transformar el alimento a leche durante los primeros 105 días de lactancia. Dichos resultados sugieren que las vacas que consumen dietas de 19% de PC o más todavía tienen la habilidad para incrementar la PL

en los primeros 105 días de lactancia. El incremento de aproximadamente 7.0 kg de leche del contenido medio al alto, no puede explicarse únicamente con el incremento de 0.3% de PC proporcionado por la dieta con contenido alto. Otra parte de la explicación, posiblemente está basada en el incremento adicional de 0.33 Mcal de EN_L /kg proporcionado por la misma dieta (Cuadro 1). Tanto el 19% de PC como el 2.10 de EN_L Mcal/kg fueron incluidos con dos propósitos: 1) aparentemente, los niveles de PC superiores a los 18.4% no tienen efectos positivos en PL. Por el contrario, tienen efectos negativos como la reducción de la eficiencia de utilización del N, el incremento de urea en sangre y las concentraciones de nitrógeno no proteico en la leche, y 2) la concentración de 2.10 Mcal de EN_L busca mejorar la PL por un incremento en la concentración de proteína a través de la estimulación de la proteína microbiana y por un incremento en la acumulación de grasa y proteína en los tejidos corporales de las vacas.

Desafortunadamente, la información relativa a metabolitos sanguíneos y hormonas del presente estudio, no ha sido procesada y resulta difícil inferir acerca de los arreglos homeorréticos alrededor del parto que pudieran generarse para las condiciones particulares del estudio. Por otra parte, las evidencias experimentales indican que el excesivo suministro de EN_L en la dieta o en la concentración de FDN tienen efectos nocivos en el volumen de leche producido y en la proteína de leche (Valadares-Filho *et al.*, 2000). Partiendo de lo estipulado en las recomendaciones actuales (NRC, 2001) y otras evidencias experimentales recientes (Reynolds *et al.*, 2004), es posible indicar que la vaca lechera en el periodo preparto requiere de la creación de un ambiente ruminal propicio para procesar mayores cantidades de alimento, la generación de reservas corporales de grasa y proteína en los tejidos durante el periodo preparto, y la manipulación de los nutrimentos para satisfacer las necesidades de la GM. La hipótesis

derivada del presente estudio es que aún se desconocen las necesidades de proteína y EN_L requeridas para vacas en el periodo de transición y que el manejo durante el periodo seco, puede proporcionar otras alternativas en la alimentación de la vaca durante la lactancia. Como parte de aquella hipótesis, con información incompleta, y con base en los resultados obtenidos se puede inferir que los contenidos de PC y EN_L altos o superiores a las recomendaciones actuales, sugieren cambios en las poblaciones ruminales, en los depósitos corporales y la actividad de la glándula mamaria para sintetizar componentes de leche en mayores cantidades. Los datos obtenidos hasta ahora sugieren también que las concentraciones de PC y EN_L usados en el experimento, no influyeron en las actividades reproductivas de los animales como fue confirmado por la similitud de las variables reproductivas del presente estudio (Cuadro 3). Las variables estudiadas incluyeron pesos de terneros al nacimiento, servicios por concepción, días al primer celo observado y días abiertos.

Conclusiones

Las variaciones de 15.8 a 19.3% de proteína cruda y de 1.28 a 18.6 Mcal de energía neta de lactancia se asociaron con incrementos en el consumo de materia seca, el consumo y el balance de energía y la ganancia de peso vivo durante el periodo preparto. Las inclusiones de concentraciones superiores a los recomendados (NRC, 2001) probablemente se relacionaron con incrementos en el tejido corporal de grasa, proteína, y posiblemente, en cambios en la población microbiana del rumen. Además, las dietas crearon un escenario libre de desórdenes metabólicos aparentes en el periodo preparto.

En el periodo posparto, el incremento de 16.9 a 19.5% de proteína y de 1.46 a 2.10 Mcal de energía neta de lactancia se asociaron con incrementos en el consumo de materia seca, el consumo y balance de energía, los cambios de peso vivo y la eficiencia de conversión del alimento a leche.

Las dietas con concentraciones altas de proteína y energía no fueron asociadas con desórdenes metabólicos aparentes en el periodo posparto. Además, el exceso de energía y proteína no influyeron en la actividad reproductiva de la vaca en ambos periodos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Cooperativa Agropecuaria y Forestal Chapingo por el apoyo brindado para el desarrollo de la presente investigación en el Posgrado de Producción Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

Referencias

- Agenäs, S., E. Burstedt, and K. Holtenius. 2003. Effects of feeding intensity during the dry period. 1. Feed intake, body weight, and milk production. *J. Dairy Sci.* 86:870-882.
- ARC, 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Technical Review by an Agricultural Research Council Working Party, Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, UK.
- AOAC, 1990. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition. Arlington, VA.
- Bell, A. W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 73:2804-2819.
- Bell, A. W., R. Slepetis, and U. A. Ehrhardt. 1995. Growth and accretion of energy and protein in the gravid uterus during late pregnancy in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 78:1954-1961.
- Broderick, G. A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:1370-1381.
- Broster, W. H., and V. S. Broster. 1984. Reviews of the progress of dairy science: long term effects of plane of nutrition on the performance of the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 52:149-196.
- Boisclair, Y. R., D. G. Grieve, O. B. Allen, and R. A. Curtis. 1987. Effect of prepartum energy, body condition and sodium bicarbonate on health and metabolites of Holstein cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 70:2280-2290.
- Carson, V. M., N. L. Whitehouse, K. Kolinsky, B. D. Garthwaite, M. S. Piepenbrink, and C. G. Schwab. 1998. Interactions of prepartum and postpartum feeding of rumen inert amino acids on lactational performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 81(Suppl. 1):1152. (Abstr.).
- Dann, H. M., G. A. Varga, and D. E. Putnam. 1999. Improving energy supply to late gestation and early postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:1765-1778.
- Dorshorst, M. E. and R. R. Grummer. 2002. Effects of day relative to parturition and dietary crude protein on rumen fermentation in prepartum transition cows. *J. Dairy Sci.* 85:2290-2298.
- Drackley, J. K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? *J. Dairy Sci.* 93:2259-2273.

- Drackley, J. K., T. Overton, and G. N. Douglas. 2001. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 84(Suppl.):E100-E112.
- Ferrell, C. L., W. N. Garnett, and N. Hinman. 1976. Growth, development and composition of udder and gravid uterus of beef heifers during pregnancy. *J. Anim. Sci.* 42:1477-1489.
- Gallyean, M., and T. May. 1996. Laboratory procedures in animal nutrition research 15th rev. Ed. New Mexico State University, Las Cruces.
- García, E. 1988. Modificaciones del Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 105-108.
- Garnsworthy, P. C. 1988. The effect of energy reserves at calving on performance of dairy cows. In: P. C. Garnsworthy (Ed.) *Lactation and Nutrition in the Dairy Cow*. p. 15. Butterworth, London.
- Greenfield, R. B., M. J. Cecava, T. R. Jhonson, and S. S. Donkin. 2000. Impact of dietary protein amount and rumen degradability on intake, perpartum liver triglyceride, plasma metabolites, and milk production in transition day cows. *J. Dairy Sci.* 83:703-710.
- Grummer, R. R., P. C. Hoffman, M. L. Luck, and S. J. Bertics. 1995. Effect of prepartum and postpartum dietary energy on growth and lactation of primiparous cows *J. Dairy Sci.* 78:172-180.
- Goering, H. K., and P. J. Van Soest. 1970. *Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications)*. Agric. Handbook No. 379. ARS-USDA, Washington, DC.
- 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 forage percentage on postpartum performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84:2051-2058.
- Ingvarsen, K. L., and J. B. Andersen. 2000. Symposium: Dry matter intake of lactating dairy cattle. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci.* 83:1573-1597.
- Kalra, S. P., M. G. Dube, S. Pu, B. Xu, T. L. Horvathn, and P. S. Karla. 1999. Interactive appetite-regulating pathways in the hypothalamic regulation of body weight. *Endocr. Rev.* 20:68-100.
- Keady, T. W. J., C. S. Mayne, D. A. Fitzpatrick, and M. A. McCoy. 2001. Effect of concentrate level in late gestation on subsequent milk yield, milk composition, and fertility of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84:1468-1479.

- Littell, C. R., G. A. Milliken, W. W. Stroup, and F. D. Wolfinger. 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Minor, D. J., S. L. Trower, B. D. Strang, R. D. Shaver, and R. R. Grummer. 1998. Effects of nonfiber carbohydrate and niacin on periparturient metabolic status and lactation of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:189-200.
- NRC, 2001. Nutrients Requirements of Dairy Cattle (7th Ed.) National Academy Press. Washington, D. C. USA.
- Olsson, G., H. Emanuelson, and H. Wiktorsson. 1998. Effects of different nutritional levels prepartum on the subsequent performance of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 53 :279-290.
- Overton, T. R., and M. R. Waldron. 2004. Nutritional management of transition dairy cows: strategies to optimize metabolic health. *J. Dairy Sci.* 87(E. Suppl.):E105-E119.
- Park, A. F., J. E. Shirley, and E. C. Titgemeyer. 2002. Effect on protein level in prepartum diets on metabolism and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:1815-1828.
- 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.* 86:916.9-925.
- Rabelo, E., S. J. Bertics, J. Mackovic, and R. R. Grummer. 2001. Strategies for increasing energy density of dry cows diets. *J. Dairy Sci.* 84:2240-2249.
- Reynolds, C. K., B. Durst, B. Lupoli, D. J. Humphries, and D. E. Beever. 2004. Visceral mass tissue and rumen volume in dairy cows during the transition from late gestation to early lactation. *J. Dairy Sci.* 87: 961-971.
- Rinne, M., S. Jaakkola, K. Kaustell, T. Heikkila, and P. Huhtanen. 1999. Silages harvested at different stages of grass growth vs. concentrate foods as energy and protein sources in milk production. *Anim. Sci.* 69:251-263.
- Rukkwansuk, T., M. J. H. Geelen, A. M. Kruip, and T. Wensing. 2000. Interrelation of fatty acid composition in adipose tissue, serum and liver of dairy cows during the development of fatty liver postpartum. *J. Dairy Sci.* 83:52-59.
- SAS, 2001. SAS/STAT® User's Guide. SAS Institute Inc., Gary, NC.
- Valadares-Filho, S. C., G. A. Broderick, R.F.D. Valadares, and M. K. Clayton. 2000. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on nutrient utilization and milk production. *J. Dairy Sci.* 83:106-114.

- VandeHaar, M. J., G. Yousif, B. K. Sharma, T. H. Herdt, R. S. Emery, M. S. Allen, and J. S. Liesman. 1999. Effect of energy and protein density of prepartum diets on fat and protein metabolism of dairy cattle in the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 82:1282-1295.
- Van Saun, R. J., S. C. Idleman, and C. J. Sniffen. 1993. Effect of undegradable protein amount fed prepartum on postpartum production in first lactation Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 76:236-244.
- Wu, Z., R. J. Fisher, C. E. Polan, and C. G. Schwab. 1997. Lactational performance of cows fed low or high ruminally undegradable protein. *J. Dairy Sci.* 80:722-729.

Cuadro 1. Composición química (%) y valores calculados del flujo de lisina y metionina al duodeno de las dietas experimentales utilizadas durante el periodo seco y 105 días postparto con diferentes niveles de energía y proteína

Ingredientes	Periodo seco			105 días en leche		
	EN _L , Mcal/kg (% de PC en la dieta)					
	1.28(15.8) ¹	1.58(18.7) ²	1.86(19.3) ³	1.46(16.9) ⁴	1.77(19.2) ⁵	2.10(19.5) ⁶
Pasta de soya	7.77	3.27	12.00	7.00	18.00	16.90
Heno de avena	35.62	65.29	52.45	5.90	27.52	19.10
Heno de alfalfa	--	--	--	4.70	11.00	14.54
Melaza	--	4.66	5.57	3.00	7.50	4.81
Minerales	0.90	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00
Maíz rolado	--	5.63	5.66	3.54	9.30	9.90
Sorgo rolado	--	5.63	5.55	--	9.30	9.90
Gluten de maíz	0.88	10.20	8.00	--	--	--
Harina de sangre	4.00	--	--	2.74	--	--
Harina de pescado	3.00	4.45	2.69	2.22	1.65	2.00
Aceite vegetal	--	--	--	--	--	4.80
Megalac	--	--	5.35	--	2.23	5.49
Cascarilla de soya	--	--	1.73	12.80	4.00	1.00
Semilla de algodón	--	--	--	--	--	11.30
Salvado de trigo	--	--	--	4.00	8.50	--
Paja de trigo	47.83	--	--	--	--	--
----- Composición química, % MS -----						
MO, %	91.30	91.50	91.20	91.30	91.80	92.30
Proteína cruda, %	15.80	18.70	19.30	16.90	19.20	19.50
PNDR, %	45.60	49.00	45.00	41.50	35.00	33.70
PDR, %	54.40	51.00	55.00	58.50	65.00	66.30
PM, g/kg MS	71.00	70.00	70.00	111.00	122.00	120.00
FDN, %	56.30	40.50	34.90	48.90	30.10	26.70
FDA, %	37.10	25.30	21.90	31.20	19.40	18.20
Ca, %	0.50	0.50	1.10	0.50	0.80	1.20
P, %	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Cu, ppm	7.76	10.07	10.73	8.87	11.09	10.55
Fe, ppm	306.90	215.05	207.46	339.81	222.10	161.31
Cenizas, %	8.70	8.50	8.80	8.70	8.20	7.70
Flujo al duodeno, % de AA						
Lisina, % AA	14.40	15.02	12.63	14.70	13.03	15.22
Metionina, % AA	3.90	4.04	4.61	4.07	4.38	4.17

^{1, 2, 3}Dietas utilizadas durante el periodo seco: baja, media y alta. ^{4, 5, 6}Dietas utilizadas en el posparto: baja, media y alta. MO = Materia orgánica; PNDR = Proteína no degradable en rumen; PDR = Proteína degradable en rumen; PM = Proteína microbiana; FDN = Fibra detergente neutro; FDA = Fibra detergente ácido; AA = Aminoácidos.

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos de peso vivo, cambios de peso vivo (PV), consumo de materia seca, consumo de energía, producción de leche y eficiencia durante el periodo seco y 105 días en leche de vacas Holstein

Item	Periodo seco				105 días en leche			
	Bajo ¹	Medio ²	Alto ³	EE	Bajo ⁴	Medio ⁵	Alto ⁶	EE
Peso vivo, kg	722.6 ^a	731.7 ^a	713.2 ^a	9.6	585.1 ^b	632.2 ^a	635.4 ^a	5.0
Cambios de PV, kg	0.9 ^a	0.4 ^b	1.0 ^a	0.2	-0.7 ^a	-0.4 ^a	-0.3 ^a	0.1
Consumo de materia seca, kg	10.5 ^c	11.5 ^b	12.3 ^a	0.2	13.8 ^c	17.1 ^b	18.4 ^a	0.2
Consumo de EN _L (Mcal/kg)	13.42 ^c	18.30 ^b	23.03 ^a	0.4	19.66 ^c	29.54 ^b	37.83 ^a	0.4
Producción de leche, kg	-----	-----	-----	---	19.0 ^c	27.7 ^b	34.3 ^a	0.5
Eficiencia (kg de leche/kg de alimento), kg	-----	-----	-----	---	1.5 ^c	1.7 ^b	1.9 ^a	0.0

^{1, 2, 3} Dietas utilizadas durante el periodo seco: 1.28 y 1.58, 1.58 y 18.7, y 1.86 y 19.3 Mcal/kg de EN_L y % de PC, respectivamente.

^{4, 5, 6} Dietas utilizadas durante los 105 días en leche: 1.46 y 16.9, 1.77 y 19.2, y 2.10 y 19.5 Mcal/kg de EN_L y % de PC, respectivamente.

⁷ EE, error estándar de la media.

^{a,b,c} Dentro de hileras, medias sin una literal en común son diferentes $P < 0.05$.

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos de peso vivo (PV) al parto, PV de terneros al nacimiento, días al primer celo, servicios por concepción y días abiertos de vacas Holstein durante 105 días en leche

Item	Bajo	Medio	Alto	EE
	EN _L Mcal/kg (% de PC de la dieta)			
	1.46(16.9)	1.77(19.2)	2.10(19.5)	
PV de vacas al parto, kg	724.70 ^a	715.70 ^a	738.00 ^a	24.24
PV de terneros al nacimiento, kg	45.05 ^a	40.43 ^a	40.78 ^a	2.31
Días al primer celo	41.60 ^a	54.70 ^a	70.00 ^a	34.30
Servicios/concepción	2.44 ^a	1.60 ^a	2.88 ^a	
Días abiertos	106.75 ^a	164.90 ^a	143.44 ^a	33.48

EE, error estándar de la media.

^aDentro de hileras, medias sin una literal en común son diferentes $P < 0.05$.

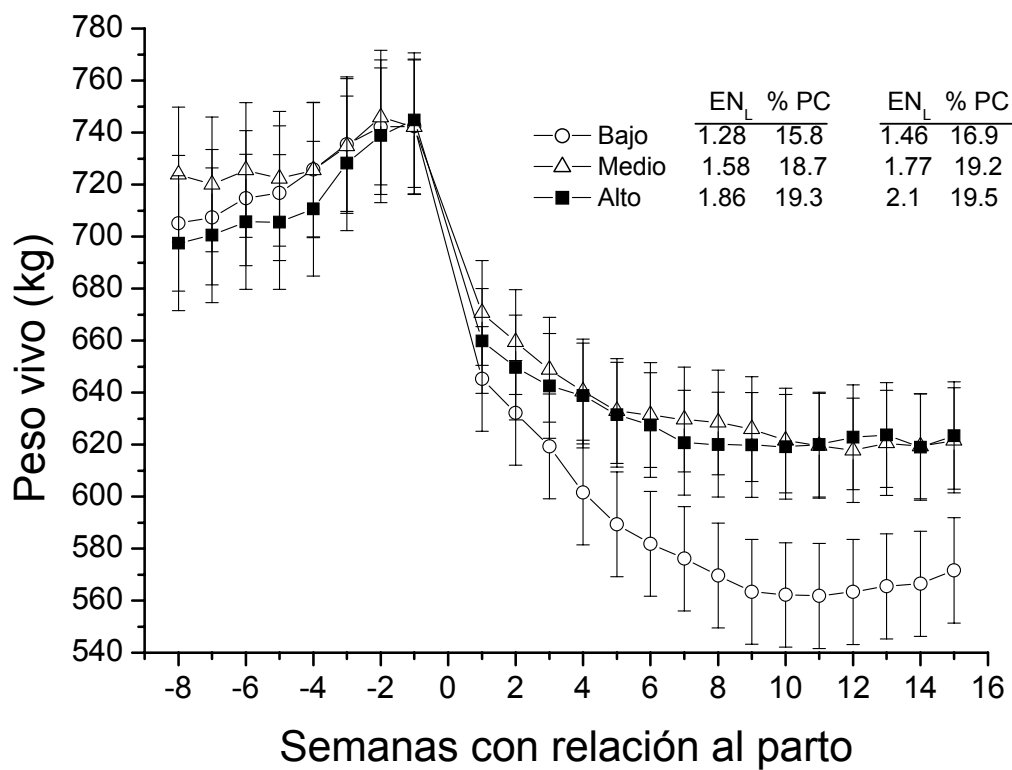


Figura 4. Pesos corporales (kg) de vacas Holstein durante el periodo seco y 105 días postparto, consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína

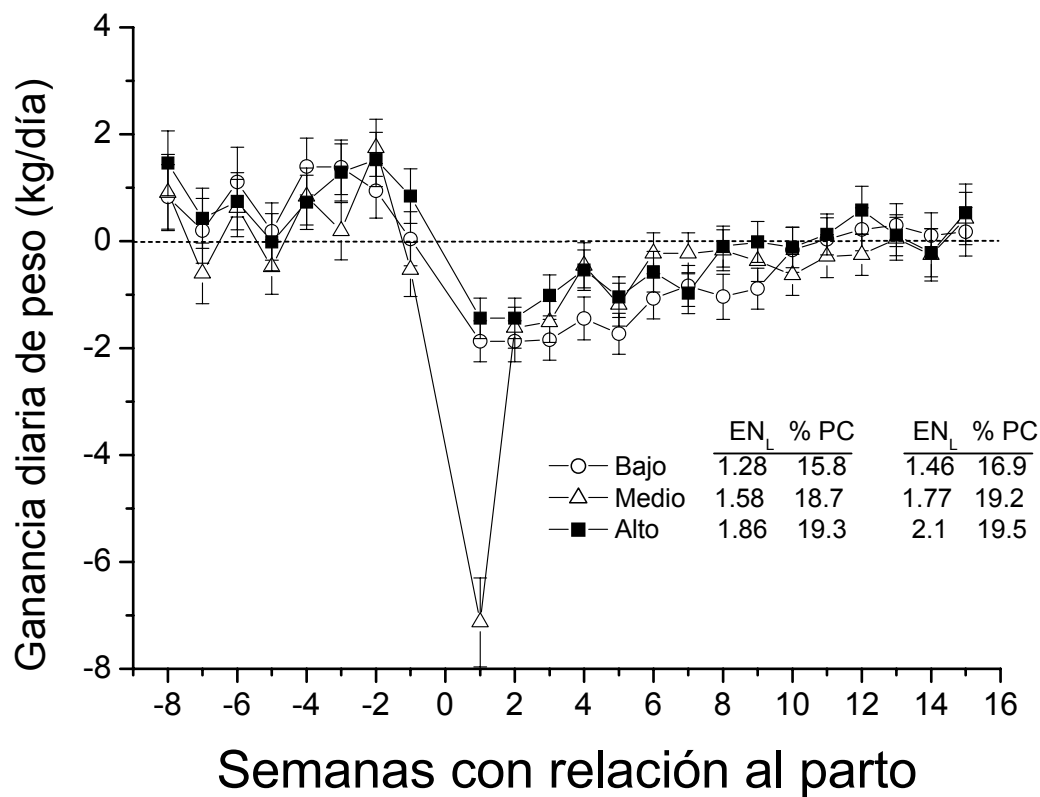


Figura 5. Ganancia diaria de peso (GDP, kg/día) de vacas Holstein durante el periodo seco y 105 días postparto, consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína

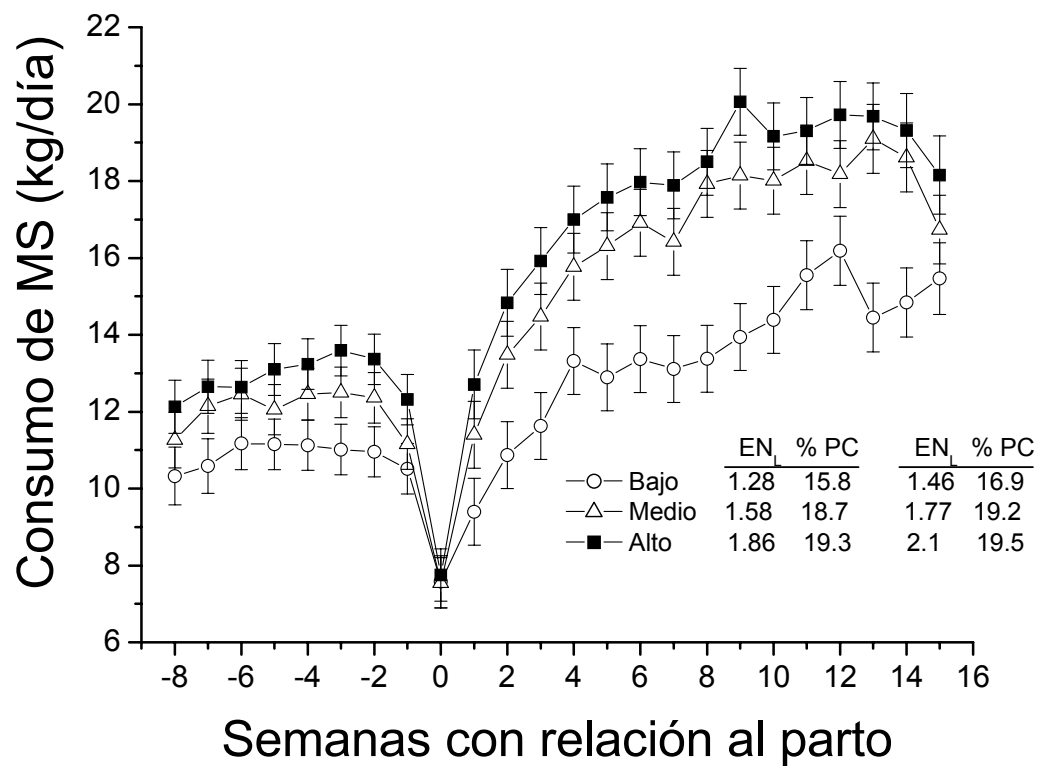


Figura 6. Consumo de materia seca (kg) de vacas Holstein durante el periodo seco y 105 días postparto, consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína

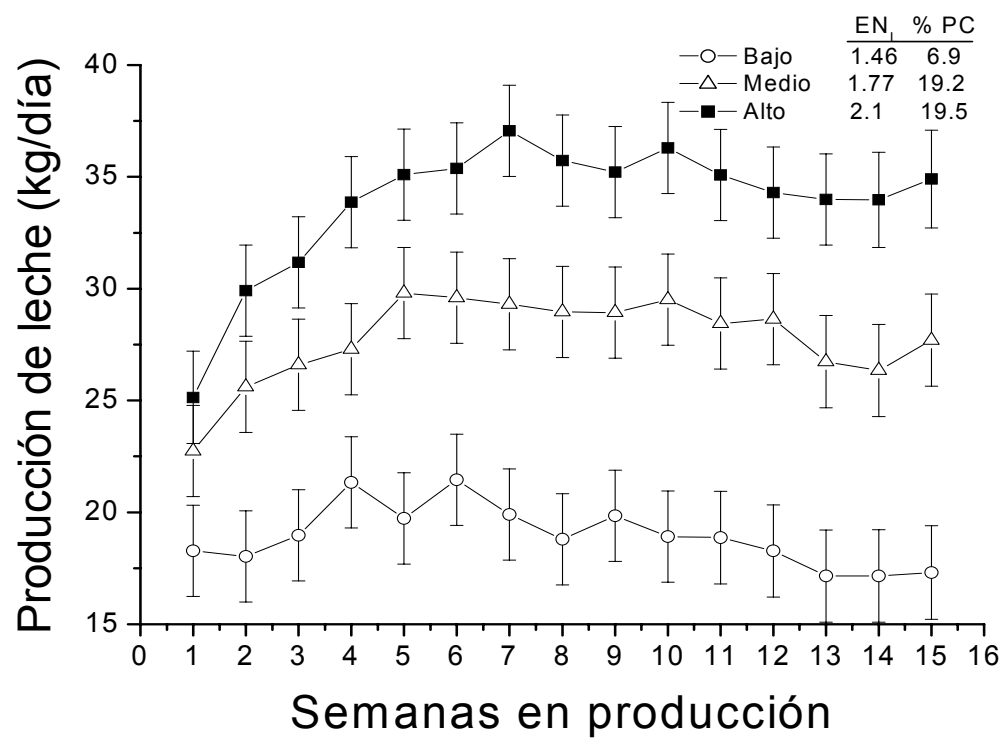


Figura 7. Producción de leche de vacas Holstein durante 105 días de lactancia consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína

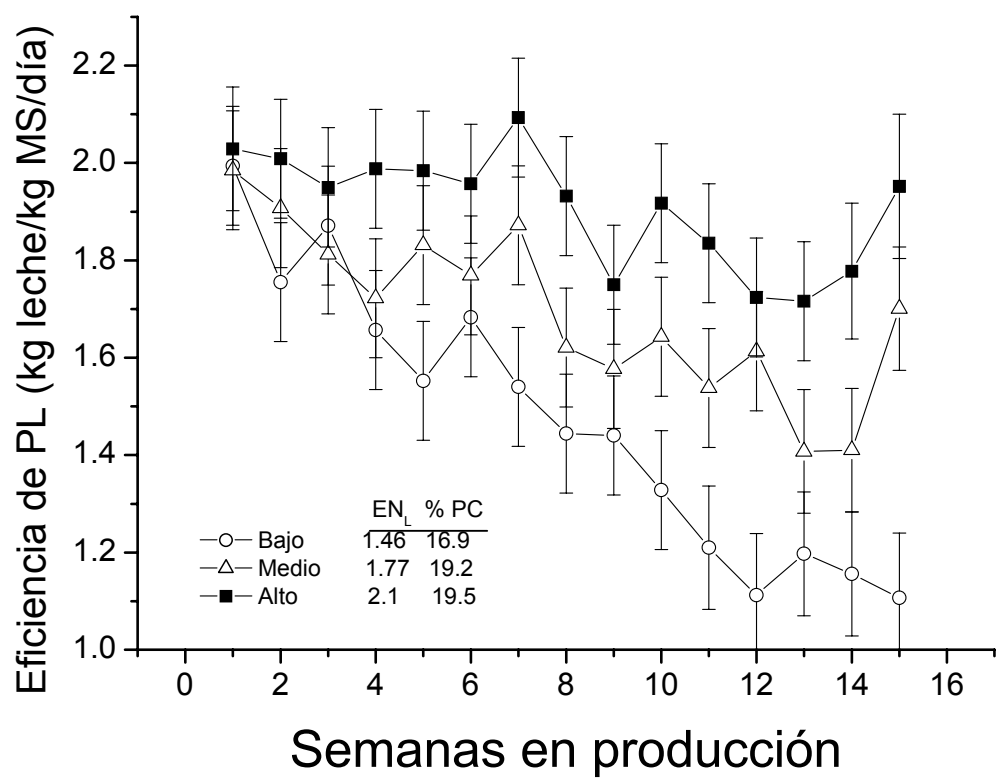


Figura 8. Eficiencia de producción de leche de vacas Holstein durante 105 días de lactancia consumiendo dietas con diferente contenido de energía y proteína