



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA**

**BALANCE ENTRE CONSUMO Y GASTO DE ENERGÍA
POR ACTIVIDAD DE VACAS LECHERAS PASTOREANDO
PASTIZAL NATIVO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

PRESENTA:

HELADIO CRESPO LIRA

Bajo la supervisión de: Ricardo D. Améndola Massiotti Ph.D.



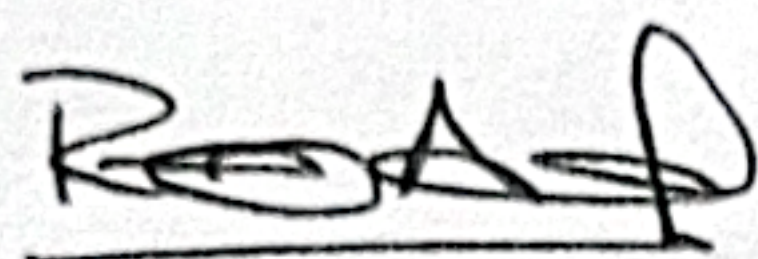
JUNIO, 2009
Chapingo, Estado de México

BALANCE ENTRE CONSUMO Y GASTO DE ENERGÍA POR ACTIVIDAD DE VACAS LECHERAS PASTOREANDO PASTIZAL NATIVO

Tesis realizada por Heladio Crespo Lira bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

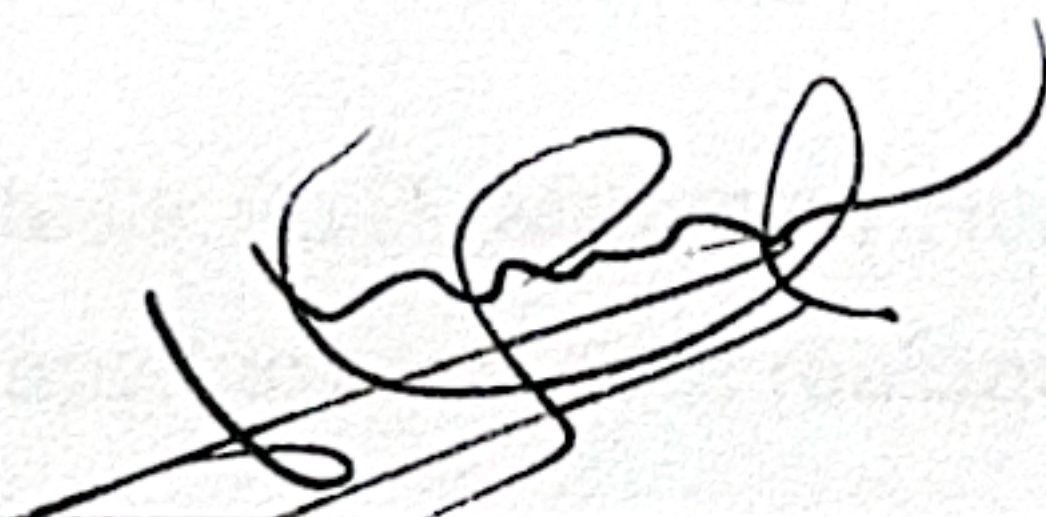
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



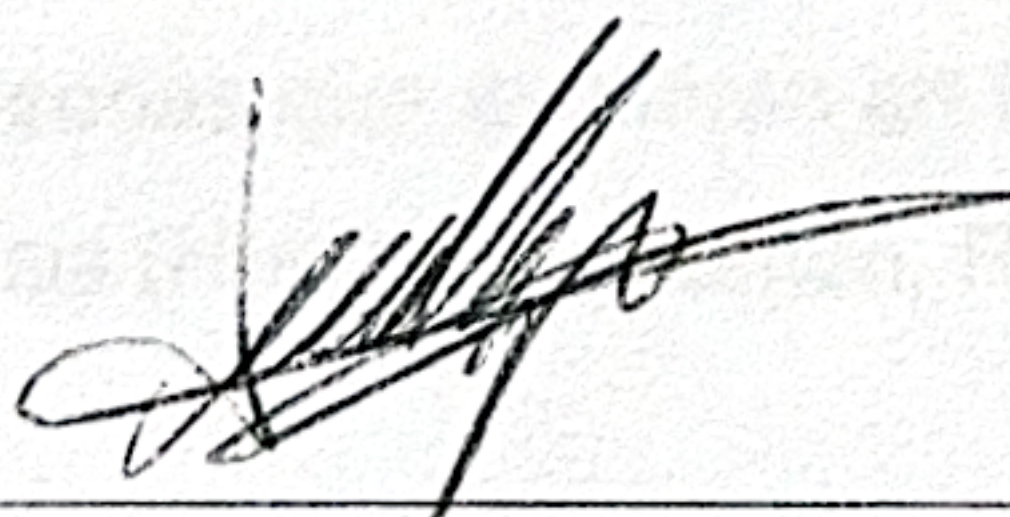
Ph.D. Ricardo D. Améndola Massiotti

ASESOR:



Ph.D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



Dr. Juan A. Burgueño Ferreira

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme formar parte de esta institución y llevar a cabo mi formación académica.

Al Departamento de Zootecnia y al Posgrado en Producción Animal por el apoyo brindado durante mi estancia para realizar mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindarme una beca para la realización de mis estudios de maestría.

A EULACIAS por el financiamiento brindado para llevar a cabo la fase experimental de esta tesis.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por brindarme una beca para culminar mis estudios de maestría.

Al director de esta tesis Ph.D. Ricardo D. Améndola Massiotti por guiar la realización de este trabajo y por las sugerencias para lograr esta investigación.

A los asesores de esta tesis Ph.D. Maximino Huerta Bravo y Dr. Juan A. Burgueño Ferreira por sus valiosas aportaciones en la realización del presente trabajo.

A los señores Daniel Chávez Díaz, Filiberto García Haro y Alberto Vega Cárdenas, por las facilidades brindadas en sus unidades de producción para llevar a cabo el trabajo de campo de la presente tesis.

A cada uno de las personas que ayudaron en los muestreos y laboratorio para llevar a bien este trabajo de tesis (Humberto, Ramón, Rolando).

DEDICATORIA

A Dios por ser la guía que me lleva a tratar de ser una mejor persona.

A mis padres Alejandro y Martha, por ser la fuente de motivaciones para superarme, y brindarme siempre su cariño y afecto.

A mis hermanos Alejandro y Guadalupe, por estar siempre a mi lado apoyándome.

A mi sobrina Claudia por que a pesar de que recientemente llegó, forma parte muy importante de mis motivaciones.

A mis abuelos por brindarme su cariño.

A mis tíos y tías Natalia, Facunda, Judith, Lázaro, María, Hugo y Magdalena, por apoyarme en todo momento y estar pendiente de mi bienestar.

A mis primos Mary, Miguel, Victor, Rodrigo, Claudia, Ingrid, Monse, Beto, Cesar, y Pedro, por brindarme su cariño.

A mis compañeros de maestría y amigos, con los que compartí tantos momentos agradables, les deseo lo mejor en su vida.

DATOS BIOGRÁFICOS



DATOS PERSONALES

Nombre: Heladio Crespo Lira

Fecha de Nacimiento: 28 de septiembre de 1984

Lugar de nacimiento: Otumba, Estado de México

CURP: CELH840928HMCRRRL03

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cédula profesional: 5089893

FORMACIÓN ACADÉMICA

1999-2002 *“Preparatoria Agrícola”*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

2002-2006 *“Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia”*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

2007-2008 *“Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera”*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
DATOS BIOGRÁFICOS	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 ESTIMACIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO	5
2.2 CONSUMO	6
2.2.1 <i>Regulación del consumo en vacas lecheras</i>	6
2.2.2 <i>Consumo de forraje de pastoreo</i>	7
Comportamiento ingestivo	8
Factores del animal	9
Factores de la vegetación	9
Factores del manejo	10
Efecto del alimento suplementario	10
2.2.3 <i>Estimación del consumo de alimento</i>	11
Estimación por cálculos en reversa	12
Producción fecal y digestibilidad de la ingesta	12
Marcadores internos	13
Óxido crómico como marcador externo	14
Comparaciones entre técnicas	14
2.3 REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA	15
2.3.1 <i>Requerimientos para mantenimiento</i>	16
2.3.2 <i>Actividades de los animales en pastoreo</i>	17
Tiempo de pastoreo	18
Distancias recorridas	18

2.3.3	<i>Factores que afectan los requerimientos de energía</i>	19
	Clima	19
	Terreno y vegetación	20
2.3.4	<i>Estimación de gasto energético</i>	21
	Mediciones en campo	21
	Modelos de simulación	22
2.4	LITERATURA CITADA	22
3	BALANCE ENTRE CONSUMO Y GASTO DE ENERGÍA POR ACTIVIDAD DE VACAS LECHERAS	
	PASTOREANDO PASTIZAL NATIVO	27
3.1	INTRODUCCIÓN	30
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.2.1	<i>Localización y duración</i>	31
3.2.2	<i>Unidades de producción y animales</i>	31
	Características de las unidades de producción	32
3.2.3	<i>Determinaciones</i>	33
	Estimación de consumo	33
	Estimación de los requerimientos energéticos	36
3.2.4	<i>Análisis estadístico</i>	40
3.3	RESULTADOS	40
3.3.1	<i>Comportamiento ingestivo de los animales en pastoreo</i>	40
3.3.2	<i>Balance de energía</i>	42
3.3.3	<i>Composición nutricional</i>	47
3.4	DISCUSIÓN	49
3.4.1	<i>Actividad de vacas lecheras en pastoreo</i>	49
3.4.2	<i>Requerimientos de vacas lecheras en pastoreo</i>	53
3.4.3	<i>Consumo de vacas lecheras en pastoreo</i>	55
3.4.4	<i>Balance energético de vacas lecheras en pastoreo</i>	56
3.5	CONCLUSIONES	57
3.6	LITERATURA CITADA	58

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1. Características de las unidades de producción.....	32
Cuadro 3.2. Pendiente promedio de los terrenos en que pastorearon las vacas en cada período experimental y cada una de las unidades de producción.	33
Cuadro 3.3. Estimadores empleados para el cálculo de requerimientos para mantenimiento.	39
Cuadro 3.4. Tasa de bocado, distancia entre estaciones de alimentación, tiempo de permanencia en las estaciones de alimentación y tiempo empleado para desplazamiento entre estaciones de alimentación de vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.	41
Cuadro 3.5. Tiempo de pastoreo y distancia recorrida por sesión [¥] de pastoreo de vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.....	42
Cuadro 3.6. Requerimientos energéticos para tiempo de pastoreo, desplazamiento horizontal y vertical de vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.	43
Cuadro 3.7. Consumo, requerimientos y balance de energía de vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.	44
Cuadro 3.8. Consumo de forraje de pastoreo, de alimento suplementario y total (MS), por vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.....	46
Cuadro 3.9. Composición nutricional de la dieta mixta ingerida por vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.....	47
Cuadro 3.10. Composición nutricional del forraje consumido por vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Relación entre las medias de mínimos cuadrados de tiempo de pastoreo (TP) y distancia recorrida (DR) en las sesiones matutina y vespertina-nocturna en dos unidades de producción durante la época seca y tres unidades de producción durante la época lluviosa.	50
---	----

1 INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción de bovinos lecheros, la alimentación implica entre 46 y 56% de los costos de producción (Espinoza-Ortega *et al.*, 2005); por esta razón, los incrementos en eficiencia mediante el uso de estrategias de alimentación adecuadas, tienen un claro efecto positivo sobre la rentabilidad del sistema (Coffey *et al.*, 2002).

Los animales deben obtener del alimento ingerido, la energía necesaria para mantener su producción y condición corporal. La relación entre la ingesta de energía en el alimento y la energía que se pierde por el cuerpo se conoce como balance energético de los animales. En el caso de las vacas productoras de leche, la energía tisular retenida es la suma de la energía tisular, la energía de lactación y la energía para los productos de la concepción (National Research Council, 1981). En el caso de animales en pastoreo, las actividades realizadas en la cosecha del forraje implican costo energético, mismo que debe satisfacerse por el consumo de forraje. En caso contrario, los animales estarán obteniendo esa energía adicional a partir del alimento suplementario y el pastoreo resultaría ineficiente y no rentable energéticamente (balance energético negativo de la actividad de pastoreo). Este tipo de situaciones hacen necesaria la implementación de nuevas estrategias de manejo.

En condiciones de pastizal nativo durante la época de sequía, la oferta de forraje es pobre tanto en términos de cantidad como de calidad (Johnson *et al.*, 1998), lo que puede ocasionar que la ingesta de energía por parte de los animales en pastoreo sea baja. Si esa ingesta es menor que el costo energético de la actividad, el pastoreo sería una estrategia de alimentación ineficiente con impacto negativo en los costos de producción. Por ello, en el caso de sistemas de producción de leche que se basan en el pastoreo de pastizal nativo, resulta necesario estimar el balance energético de la actividad de pastoreo, lo que implica medir la ingesta de energía y calcular el requerimiento energético de la actividad.

La estimación del consumo de forraje por animales en pastoreo es compleja y hace necesaria la aplicación de diferentes técnicas, algunas de las cuales

implican la medición de la producción fecal, la cual generalmente se efectúa empleando marcadores (Penning, 2004). Por otra parte, los requerimientos energéticos de los animales en pastoreo son mayores que los de los animales en confinamiento (Brosh *et al.*, 2006). Los requerimientos se pueden determinar mediante la medición de parámetros fisiológicos relacionados con la producción de calor, y nivel productivo de carne y leche (Di Marco y Aello, 2003) o por medio de la cuantificación de las actividades que realizan los animales y sus respectivos costos energéticos (Caton y Dhuyvetter, 1997).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar el balance energético de la actividad de pastoreo de vacas lecheras en pastizal nativo durante las épocas lluviosa y seca.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estimación del balance energético

El balance de energía define el estado de energía corporal de las vacas, resultado del flujo de energía diario (Coffey *et al.*, 2002); este balance considera ingresos (consumo) y egresos (requerimientos). Los ingresos consisten en la energía consumida con la dieta, mientras que los egresos comprenden los requerimientos para mantenimiento, producción, cambios de peso, y reproducción (Johnson *et al.*, 2003).

De acuerdo con National Research Council (1981, 2001), la energía de los alimentos se clasifica como i) Energía Bruta (EB), energía química contenida en los alimentos o el calor de combustión; ii) Energía Digestible, es la energía disponibles de los alimentos (ED); iii) Energía Metabolizable (EM), energía disponible para el metabolismo de los tejidos del animal; y iv) Energía Neta (para mantenimiento EN_M y lactación EN_L), la energía de mantenimiento es la energía que se pierde en forma de calor, mientras que la energía de lactación es la energía retenida para producción. National Research Council (2001) sugiere que la eficiencia de transformación de EM a EN_M es de 0.62 y 0.64 para EN_L , esta última es la que se emplea más frecuentemente para expresar los requerimientos de vacas lecheras.

En el caso de pastoreo, el aumento de los requerimientos pueden afectar la proporción de energía retenida a menos que la energía ingerida sea equivalente, de lo contrario inicia el catabolismo de las grasas y hay pérdida de peso (Banos *et al.*, 2005). El aumento en requerimientos con respecto a los de animales estabulados depende de la magnitud de actividades de tiempo dedicado a consumir forraje (o tiempo de pastoreo, TP), desplazamiento horizontal y desplazamiento vertical (Brosh *et al.*, 2006).

Para el caso del apacentamiento, los animales deben obtener al menos la energía necesaria para llevar a cabo el proceso (Patiño-Pardo *et al.* 2003), o en caso contrario hay que optar por nuevas opciones de manejo.

2.2 Consumo

El consumo de alimento define la cantidad de nutrimentos que el animal tiene disponible para su bienestar y producción; por eso, cuando el consumo es bajo se ven afectados el desempeño productivo y el bienestar de los animales (National Research Council, 2001). Los sistemas de producción modernos tratan de maximizar el consumo y minimizar las pérdidas de energía para alcanzar el máximo nivel de producción. En el caso de animales estabulados, los principales factores que modifican el consumo son: las condiciones medioambientales, señales sensoriales y concentración de nutrientes de la dieta (National Research Council, 1987; Araujo-Febres, 2005).

Araujo-Febres (2005) sugiere que los principales factores que regulan el consumo en sistemas con alimentación basados en concentrados son: concentración ruminal de acetato, concentración duodenal de lactato, nivel hepático del propionato y distensión de la pared ruminal; mientras que para pastoreo, la mayor influencia la tiene la calidad de forraje y el alimento suplementario (balance de la dieta). Por el contrario, al discutir los factores que regulan el consumo en pastoreo (Chilibroste, 1999) destaca la importancia de aquellos vinculados con la facilidad o dificultad de cosecha del alimento.

2.2.1 Regulación del consumo en vacas lecheras

El desempeño productivo de vacas productoras de leche (con relación a su rendimiento potencial) se relaciona a su respuesta productiva frente a un plan nutricional adecuado que satisfaga sus requerimientos de mantenimiento y producción (Aguilar *et al.*, 2000), con especial énfasis en el estatus del balance de energía (De Vries y Veerkamp, 2000).

El consumo tanto de MS como de energía varía en función de la raza, etapa de lactación y nivel productivo de las vacas. En el caso de vacas del sistema carne, animales relativamente pequeños y con bajo nivel productivo (8.2 kg leche d⁻¹), Jenkins *et al.* (2000) encontraron consumos de 26 Mcal EM d⁻¹ (con

un óptimo de 29 Mcal EM d⁻¹). Los resultados de Freetly *et al.* (2006) son similares ya que con consumos de 28.9 Mcal EM d⁻¹ obtuvieron una producción de 13.3 kg leche d⁻¹, misma que disminuyó a 4.7 kg leche d⁻¹ con ingestas de 14.8 Mcal EM d⁻¹; tomando en cuenta requerimientos indicados por National Research Council (2001) este último resultado de Freetley *et al.* (2006) implica que las vacas debieron estar perdiendo peso. Por otra parte, con vacas lecheras de mejor desempeño productivo (35 kg leche d⁻¹), Collard *et al.* (2000) reportan consumos de 18.9 kg MS y 34.4 Mcal EN_L. Para vacas del sistema carne, con producciones de leche bajas, Freetly *et al.* (2006) sugieren que la eficiencia de retención de energía es similar a las lecheras y reportan una eficiencia de conversión de EM a EN_L del 72%. Con base en lo anterior se puede estimar que el consumo de energía reportado por Collard *et al.* (2000) para vacas lecheras resultaría 84% y 65% superior al de vacas de carne cuyas producciones eran menores en 26.1 y 21.7 litros diarios (reportados por Jenkins *et al.*, 2000 y Freetly *et al.*, 2006, respectivamente).

2.2.2 Consumo de forraje de pastoreo

El consumo es el componente más importante para definir el desempeño de los animales en sistemas en pastoreo (Lippke, 2002). Los animales buscan consumir alimento con un balance adecuado de nutrientes por lo cuál seleccionan la dieta de mayor calidad (Burns y Sollenberg, 2002), encontrándose factores no nutricionales relacionados a los animales, que reducen la eficiencia de cosecha y el desempeño de los animales (Zanine *et al.*, 2006).

Las amplias variaciones en el consumo de forraje de pastoreo se deben a diferencias en la calidad y disponibilidad de forraje, altura de la planta y capacidad del animal para cosecharlo (Di Marco y Aello, 2001; Vazquez y Smith, 2001; Brosh *et al.*, 2006). En condiciones de alta disponibilidad de forraje, el factor que regula el consumo es la capacidad de llenado ruminal, que se afecta con baja DivMO y aumentos en FDN y FDA del forraje ingerido (Johnson *et al.*, 1998).

Otros factores que modifican indirectamente la ingestión de forraje son la temperatura y el alimento suplementario, el primero incide en la madurez del forraje (se acelera con mayor temperatura) y el segundo porque modifica la composición nutricional de la dieta (Huber *et al.*, 1995; Gekara *et al.*, 2001) y reduce el consumo de forraje debido al efecto sustitutivo (Stockdale, 2000). El uso adecuado de estrategias de manejo ayuda a mejorar el pastoreo (Gekara *et al.*, 2001; Gregorini *et al.*, 2006).

Comportamiento ingestivo

Los componentes del comportamiento ingestivo son el peso de bocado, la tasa de bocado y el TP; son éstos los factores modificados por la interacción animal-planta que definen el consumo de forraje de pastoreo (Burns y Sollenberg, 2002). Cuando las características del forraje dificultan su aprehensión disminuye el peso de bocado y aumenta la tasa de bocado y el TP (Zanine *et al.*, 2006); la compensación de estos incrementos es por lo general insuficiente y el consumo diario se reduce al disminuir el peso de bocado (Gregorini *et al.*, 2008).

Los factores que influyen en el comportamiento ingestivo son diversos. En un sistema rotacional con novillos, Patiño-Pardo *et al.* (2008) encontraron que existen modificaciones en el número de bocados diarios de acuerdo con la época y a la raza, con aumentos de hasta 39% en la época seca con respecto a la época lluviosa. Los autores indican que otro de los factores que modifican la tasa de bocado es el aporte de alimento suplementario: con un nivel de alimento suplementario de 1.37% del peso vivo, la tasa de bocado disminuyó 26% frente a la tasa de bocado de animales sin suplemento.

En condiciones en que características del forraje como digestibilidad, altura, masa total o de hoja verde y relación hoja:tallo son bajas, disminuye el volumen y peso de bocado (Gekara *et al.*, 2001; Burns y Sollenberg, 2002) y aumenta el TP, el que a su vez es modificado por actividades como caminar, rumiar y socializar (Burns y Sollenberg, 2002).

En vegetaciones de pastizal, las estaciones de alimentación (sitio donde permanece un animal comiendo sin mover sus patas delanteras) definen el potencial de apacentamiento (Gregorini *et al.*, 2008). El aporte de alimento suplementario no tiene efecto en la permanencia en las estaciones de alimentación, sin embargo cuando la disponibilidad de forraje es alta, el tiempo de permanencia en la estación aumenta y por lo tanto disminuye el número de estaciones de alimentación, contrario a lo que sucede cuando la calidad del forraje es baja y el tiempo de permanencia es menor (Patiño-Pardo *et al.*, 2003).

Factores del animal

La conducta de pastoreo está influenciada por el tamaño del tracto gastrointestinal, la acumulación de calor a lo largo del día (aumento de temperatura y rompimiento de la homeostasis) y la necesidad de llenar las reservas de grasa (Sprinkle *et al.*, 2000). Factores como número de parto, raza, etapa reproductiva y de lactancia, modifican el consumo de vacas en pastoreo (Sprinkle *et al.*, 2000; Casasus *et al.*, 2002). Sprinkle *et al.* (2000) encontraron 9% mayor TP en vacas lactantes que en vacas secas y 20% mayor consumo en vacas de condición corporal baja.

Las condiciones climáticas pueden incidir en el desempeño de los animales, con temperaturas muy elevadas y baja humedad relativa disminuye TP y peso de bocado durante el día y la actividad de pastoreo se concentra por la noche cuando baja la temperatura (Forbes *et al.*, 1998; Sprinkle *et al.*, 2000; Burns y Sollenberg, 2002). Aguilar *et al.* (2000) reportan que con aumentos de 22 a 27 °C, hay disminuciones de consumo entre 1.8 y 3.11 Mcal d⁻¹ en ganado cruzado (*Bos taurus* × *B. indicus*).

Factores de la vegetación

Los principales efectos de la reducción de la calidad de forraje son la disminución en el TP y el consumo de forraje (Brosh *et al.*, 2006). La reducción de calidad y cantidad de forraje se enfatiza en ambientes donde las condiciones

climáticas son desfavorables (como aumentos en temperatura y disminución de humedad). Forbes *et al.* (1998), Johnson *et al.* (1998) y Gekara *et al.* (2001) coinciden en que la disminución del consumo se debe al aumento de la madurez de los forrajes, disminuyendo la digestibilidad, proteína e incrementando el contenido de fibra. Al respecto, Johnson *et al.* (1998) encontraron disminuciones de 54% en PC, 22% en DivMO y aumento de 17% en FDA y 21% en FDN a medida que avanzó la madurez del forraje, provocando disminuciones en el consumo.

Factores del manejo

Para condiciones de pastoreo rotacional se puede manipular la asignación de forraje, aumentándola y aprovechando la acumulación de fotosintatos y de MS que ocurre por la tarde, principalmente en la época de estrés calórico (Sprinkle *et al.*, 2000; Gregorini *et al.*, 2006). Gregorini *et al.* (2006) encontraron que la hora en que pastorean los animales provoca diferencias de consumo, así los animales concentraron el pastoreo durante la tarde (15 a 19 hrs), sin mostrar diferencias por la estación de año.

Por otro lado, diferencias en carga animal pueden provocar variaciones en el comportamiento. Una carga animal elevada provoca que los animales descansen más y el consumo disminuya por tener una menor asignación de forraje, contrario a lo que sucede con carga animal baja, con la que el consumo puede ser mayor si la disponibilidad de forraje lo permite (Huber *et al.*, 1995).

Efecto del alimento suplementario

El uso de alimento suplementario tiene como objetivo elevar la ingestión de nutrientes y lograr un mejor estatus energético en las vacas, principalmente en lugares donde la vegetación es restrictiva en calidad o cantidad (Moore *et al.*, 1999; Gekara *et al.*, 2001). Si la disponibilidad de forraje es limitante, por efecto del alimento suplementario se puede reducir el consumo de forraje, lo que se conoce como efecto sustitutivo (Moore *et al.*, 1999), pero mayor disponibilidad

de forraje permiten aumentos en el efecto sustitutivo (Patiño-Pardo *et al.*, 2003). Al respecto, Gekara *et al.* (2001) encontraron que animales recibiendo alimento suplementario, consumieron 3.6 kg MS de forraje menos que los no suplementados. Coincidiendo con lo anterior, Bodine y Purvis (2003) reportaron que a medida que aumentó el nivel de alimento suplementario energético disminuyeron el TP, el consumo de forraje, la tasa de bocado y la eficiencia de cosecha; por su parte (Patiño-Pardo *et al.*, 2003) reportaron aumentos en el tiempo dedicado a descansar y caminar.

El alimento suplementario incrementa la eficiencia de uso de energía, por lo que se hace necesario identificar las deficiencias en los forrajes de acuerdo con la época del año para aplicar correctamente esta medida de manejo (Caton y Dhuyvetter, 1997; Johnson *et al.*, 1998; Aguilar *et al.*, 2000).

2.2.3 Estimación del consumo de alimento

Existen diversos métodos para medir el consumo; sin embargo, sus resultados presentan gran variabilidad entre sí, siendo mayores las diferencias cuando se suplementa a los animales (Macon *et al.*, 2003). De acuerdo con Smit *et al.* (2005) los métodos para estimar el consumo deben monitorear variaciones pequeñas y ser repetibles.

De acuerdo con Lippke (2002), las técnicas más utilizadas en la determinación de ingesta de forraje se basan en la determinación de la producción fecal y la digestibilidad del alimento, calculando el consumo como el cociente entre la producción fecal y la fracción no digestible de la dieta. Para aplicar estas técnicas regularmente se emplean marcadores.

El método basado en las mediciones de las masas de forraje ofrecido y residual se utiliza más frecuentemente para sistemas de pastoreo rotacionales (Macon *et al.*, 2003; Smit *et al.*, 2005); su empleo en condiciones de pastoreo continuo resulta más complejo (Lantinga *et al.*, 2004).

Los métodos basados en las mediciones del comportamiento ingestivo se usan con menor frecuencia; con el uso de estas técnicas se estima el consumo de MS (kg d^{-1}) como el producto de la tasa de ingestión (g min^{-1}) por el TP (min d^{-1}) (Burns y Sollenberg, 2002).

Estimación por cálculos en reversa

Baker (2004) y Smit *et al.* (2005) describen las técnicas para estimar consumo basadas en el desempeño de los animales. Estas técnicas se basan en el cálculo de la energía que debieron requerir los animales para presentar determinado desempeño, considerando para ello la suma de requerimientos de mantenimiento (incluyendo el gasto por actividades), lactación, gestación y cambio de peso. Con base en este dato ($\text{Mcal animal}^{-1} \text{d}^{-1}$), y el contenido de energía del forraje ($\text{Mcal kg}^{-1} \text{MS}$) se calcula el consumo de forraje ($\text{kg MS animal}^{-1} \text{d}^{-1}$).

Producción fecal y digestibilidad de la ingesta

Como ya se indicó, al emplear la técnica basada en la producción fecal y la digestibilidad de la ingesta, se calcula el consumo como el cociente entre la producción fecal y la fracción no digestible de la dieta de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{CMS} = \text{PF} / (1 - \text{DMS}) \quad (1)$$

donde:

CMS = consumo (kg MS d^{-1})

PF = producción fecal (kg MS d^{-1})

DMS = digestibilidad ($\text{kg MSD kg}^{-1} \text{MS}$)

De acuerdo con Penning (2004), la producción fecal se puede estimar por medio de recolección total o empleando marcadores. La primera requiere del uso de arneses o mochilas recolectoras, lo que en muchas ocasiones provoca

alteraciones en el comportamiento de pastoreo y en el desempeño de los animales. Por otro lado, el uso de marcadores requiere de sustancias que puedan ser recuperables (pasar inalteradas por el tracto digestivo), no tóxicas, analizables química o físicamente y estar en bajas concentraciones en la dieta.

En el caso de empleo de marcadores es necesario garantizar uniformidad en el flujo del marcador en el tracto digestivo, para lo que Lippke (2002) sugiere que la dosificación puede realizarse (i) diariamente a lo largo del ensayo, ii) por medio de pulsos periódicos uniformes, y iii) empleando dispositivos de descarga controlada. La dosificación debe comenzar por lo menos seis o siete días antes de iniciar el muestreo (Titgemeyer *et al.*, 2001; Penning, 2004).

La digestibilidad se puede determinar por medio de las siguientes técnicas: i) método del cociente (“ratio technique”) empleando un marcador interno, ii) índice de producción fecal y iii) digestibilidad in vitro (Div) (Penning, 2004).

Marcadores internos

La utilización de marcadores internos, conocida como técnica del cociente, es uno de los métodos empleados para estimar consumo y digestibilidad, (Penning, 2004). Los marcadores internos representan una fracción indigestible que se puede identificar tanto en el alimento consumido como en las heces (Van Soest *et al.*, 1991); los mas utilizados son lignina, cromógeno, sílice, ceniza ácido insoluble, ceras y fibra indigestible (Penning, 2004). La digestibilidad se estima mediante la siguiente ecuación.

$$DMS=1-\frac{I_f}{I_h}$$

2

donde:

DMS = digestibilidad de la materia seca del forraje (g g⁻¹)

I_f = concentración del indicador en el forraje (g g⁻¹)

I_h = concentración del indicador en las heces (g g^{-1})

Óxido crómico como marcador externo

Los marcadores externos se emplean para estimar la producción fecal. El óxido crómico (Cr_2O_3) fue el primer material descrito y utilizado en estas estimaciones. Sin embargo, después de un tiempo se redujo su uso al descubrirse en posible efecto cancerígeno (Penning, 2004). Desde el punto de vista de mediciones, algunos investigadores sugieren que su uso produce sobrestimación en las estimaciones de consumo (Luginbuhl *et al.*, 1994; Titgemeyer *et al.*, 2001; Macoon *et al.*, 2003).

Por otro lado, la distribución de este material en el organismo es variable, Luginbuhl *et al.* (1994) encontraron que con el uso de cápsulas de liberación controlada, la concentración de óxido crómico se hizo constante a partir del séptimo día luego de la aplicación y disminuyó a partir del día 25. Por su parte, Macoon *et al.* (2003) reportan que en el caso de mediciones durante 28 días se encuentran variaciones en el flujo del marcador.

Comparaciones entre técnicas

Los diferentes métodos tienen limitaciones de distinto tipo. Las técnicas basadas en muestreos de forraje permiten estimar variaciones en consumo en muy corto plazo (medio día), pero generalmente su resultado no es una estimación del consumo individual, sino del consumo de un lote de animales. Esta limitante se puede superar empleando animales apersogados, pero con el problema de la posible alteración en el comportamiento de los animales. Debido a su característica de promedio de un lote, cuando se emplea esta técnica generalmente se dispone de un menor número de grados de libertad para el análisis de resultados. Las técnicas basadas en mediciones en los animales (cálculos en reversa y las basadas en producción fecal y digestibilidad de la ingesta) permiten obtener una estimación del consumo individual, con la ventaja de mayor número de grados de libertad y enriquecimiento en la interpretación de resultados. Se recomienda un período de adaptación de al menos siete días

y que la dosificación se realice diario en dos horarios, a las 8:00 am y 5:00 pm, y en estos mismos horarios tomar las muestras (Penning, 2004).

Debido a las desventajas que presenta el óxido crómico, se han utilizado algunos otros materiales, como el óxido de titanio y diferentes alcanos (Titgemeyer *et al.*, 2001). El empleo de alcanos ha sido el método más utilizado recientemente, porque permite realizar mediciones por períodos relativamente largos y en condiciones donde el forraje presenta variabilidad en calidad y disponibilidad (Penning, 2004).

2.3 Requerimientos de energía

Los requerimientos de los animales generalmente se expresan en términos de energía, y se definen como la energía necesaria para que los animales cubran sus necesidades de mantenimiento (incluyendo sus actividades), crecimiento, producción (leche o lana) y reproducción (Banos *et al.*, 2005). Las investigaciones al respecto se han dirigido a determinar los requerimientos de los animales en cámaras metabólicas, poniendo énfasis en algunas actividades como ingestión de alimento, rumia y cambios de posición (Susenbeth *et al.*, 1998). Para estas evaluaciones es necesario tomar en cuenta que el estado de energía corporal está influenciado por la alimentación, raza y capacidad del tracto digestivo para metabolizar alimento (Schwager-Suter *et al.*, 2001).

Los requerimientos de los animales en pastoreo son diferentes a los de los animales estabulados (Brosh, 2007), debido a los costos de las actividades que representa el proceso (Di Marco y Aello, 2001; Brosh *et al.*, 2006) de cosecha del alimento, tales como el desplazamiento y el TP que implica el proceso de ingestión de forraje (Di Marco y Aello, 2001; Ungar *et al.*, 2005; Brosh, 2007). Por esa razón, regularmente el gasto de energía en pastoreo está condicionado por la superficie y características del sitio (Aguilar *et al.*, 2001).

Generalmente los requerimientos para metabolismo basal de los animales en pastoreo son similares a los de los animales estabulados. Sin embargo, el

hecho que los animales en pastoreo consuman más forraje (80% del consumo total) puede aumentar sus requerimientos energéticos para rumiar (Susenbeth *et al.*, 1998), por lo que para ajustar las estimaciones es necesario medir el tiempo dedicado a la rumia.

2.3.1 Requerimientos para mantenimiento

Los requerimientos para mantenimiento toman en cuenta algunas de las actividades elementales para que los animales se mantengan como una entidad biológica y con un ritmo general de actividad (Banos *et al.*, 2005). La energía consumida debe ser al menos equivalente al requerimiento de mantenimiento para no provocar pérdida de peso (Coffey *et al.*, 2002); estos requerimientos involucran el metabolismo de ayuno, cambios de posición, tiempo de rumia y de ingestión de alimento en el pesebre (Agricultural Research Council, 1980). Las mediciones de requerimiento energético del metabolismo del ayuno generalmente se realizan en jaulas metabólicas impidiendo que los animales realicen actividades (Keren y Olson, 2006). En otras determinaciones se cuantifica el costo de algunas de las actividades. Al respecto, Derno *et al.* (2005) reportan que el costo de cambios de posición puede implicar un 29% del costo de mantenimiento; este costo y el costo implicado en permanecer de pie son los que más influyen en el costo de mantenimiento de animales estabulados. Coincidiendo con lo anterior, Susenbeth *et al.* (2004) reportan aumentos de 8 a 25% en requerimientos de los animales que permanecen de pie frente a los de animales que están echados. Tanto los costos de metabolismo del ayuno como los de las actividades están en función del tamaño de los animales, por lo que el empleo de vacas de razas más pequeñas puede disminuir los requerimientos de mantenimiento (Derno *et al.*, 2005).

Los requerimientos de gestación se consideran separados de mantenimiento, puesto que los animales gestantes requieren energía adicional para cubrir los requerimientos del producto de la gestación (Casasus *et al.*, 2002).

2.3.2 Actividades de los animales en pastoreo

Para estimar los requerimientos de energía en pastoreo deben realizarse mediciones de las diferentes actividades; los componentes más importantes de estos requerimientos son los implicados en TP (también conocido como tiempo de cosecha efectiva), distancia recorrida (DR) y desplazamiento vertical (en función de la pendiente). Las actividades antes mencionadas se ven afectadas por las características del forraje, al modificar el peso y la tasa de bocado (Di Marco y Aello, 2001; Brosh *et al.*, 2006; Zanine *et al.*, 2006; Brosh, 2007).

Las actividades en pastoreo afectan el gasto de energía, de acuerdo con el tiempo que el animal invierte en el proceso (Di Marco y Aello, 2003). Sin embargo, algunos autores coinciden en que factores como la velocidad de desplazamiento, la DR, la topografía y TP, tienen poca influencia en el gasto diario de energía (Di Marco y Aello, 2001; Brosh *et al.*, 2006; Brosh, 2007). Por el contrario, Lachica *et al.* (1999) y Di Marco y Aello (2001) reportan incrementos similares del orden de 52% en los requerimientos de mantenimiento, resultantes del costo de caminar en terrenos muy accidentados, cubrir grandes distancias debido al acceso a las fuentes de agua o a cambios de potrero.

Las actividades de los animales en condiciones de buena disponibilidad de forraje se ven afectadas por las condiciones climáticas (Sprinkle *et al.*, 2000; Patiño-Pardo *et al.*, 2003), ya que aumentos de temperatura durante el día promueven que los animales concentren el TP durante la noche y lleven a cabo el descanso y la rumia cuando se eleva la temperatura (Gregorini *et al.*, 2006; Zanine *et al.*, 2006; Patiño-Pardo *et al.*, 2008). Por otro lado, Patiño-Pardo *et al.* (2003) encontraron que a medida que la calidad del forraje disminuye, el tiempo de rumia aumenta; los mismos autores reportan que al elevarse los niveles de alimento suplementario se aumenta el tiempo de descanso; ambos factores (baja calidad del forraje y mayor cantidad de suplemento) reducen TP. Al respecto, Di Marco y Aello (2001) indican que al pasar de forraje de moderada a

baja calidad, el TP y DR aumentaron de 8 a 11 horas y de 5 a 8 km, respectivamente, con aumentos en los requerimientos entre 8 y 29%.

Tiempo de pastoreo

El TP es influenciado principalmente por la calidad y disponibilidad del forraje (Di Marco y Aello, 2003; Brosh *et al.*, 2006). Disminuciones de la calidad del forraje provocan que el TP baje (Johnson *et al.*, 1998; Ungar *et al.*, 2005). Al disminuir la disponibilidad de forraje el tamaño de bocado es menor y aumenta el TP. Gekara *et al.* (2001) encontraron un aumento en TP de 1.3 h d^{-1} por reducción en la disponibilidad, mientras que Ungar *et al.* (2005) reportan variaciones de 4.4 a 12.1 h d^{-1} cuando la disponibilidad disminuyó por efecto de la estación del año.

Krysl y Hess (1993) reportan que los factores que más influyen en el TP son el suplemento, temperatura, manejo de pastoreo y condiciones del forraje, ocasionando que TP varían entre 6 y 12.9 h d^{-1} . Al respecto, Schauer *et al.* (2005) encontraron un aumento en el TP de 2.1 h d^{-1} en animales que no recibieron alimento suplementario frente a los que fueron suplementados.

Patiño-Pardo *et al.* (2003) mencionan que el TP puede disminuirse hasta en un 23% por efecto de altas temperaturas. Sin embargo, es posible que razas adaptadas a ambientes extremos en temperatura y forraje presenten TP hasta 29% mayor que razas menos tolerantes (Forbes *et al.*, 1998).

Es posible encontrar modificaciones en TP de acuerdo con la etapa productiva, dado que las vacas con mayores niveles productivos y por tanto mayores requerimientos energéticos presentan mayor TP (Gekara *et al.*, 2001).

Distancias recorridas

La DR está íntimamente ligada al TP, ya que ambas actividades deben realizarse simultáneamente para cosechar el forraje; sin embargo, es necesario cubrir otras distancias para tomar agua o llegar a otros potreros (Brosh *et al.*,

2006). Ungar *et al.* (2005) encontraron que vacas del sistema carne dedicaron a caminar exclusivamente (vale decir cuando el desplazamiento no estuvo asociado al pastoreo) entre 0 y 32 min d⁻¹.

Los animales prefieren recorrer transectos en los que la pendiente sea menor, ya que el gasto de energía es menor que cuando los animales recorren áreas montanas (Di Marco y Aello, 1998; Brosh *et al.*, 2006). Di Marco y Aello, (1998) y Di Marco y Aello (2001) encontraron que el efecto de caminar en terrenos con pendiente de 6% es mayor que si se somete a los animales a diferentes velocidades en terrenos planos (46% de aumento en requerimiento en comparación a 11, 29 y 40% si se someten a 1, 2 y 4 km h⁻¹). Ungar *et al.* (2005) indican que vacas del sistema carne caminaron 174 m d⁻¹ verticalmente y 1.5 a 4.2 km d⁻¹ horizontalmente.

Lachica *et al.* (1999) encontraron que la DR por cabras varió entre estaciones de 12.8 km d⁻¹ en verano y 8.1 km d⁻¹ en otoño, con aumentos de 46.6 y 31.6% en los requerimientos de mantenimiento.

2.3.3 Factores que afectan los requerimientos de energía

Los principales factores que afectan los requerimientos de energía en pastoreo varían de acuerdo con las condiciones en las que se lleva a cabo la actividad, por efecto de las variaciones en clima, terreno y vegetación.

Clima

Keren y Olson (2006) mencionan que el costo de energía puede variar debido a las corrientes de aire, y cambios en la humedad y la radiación, ya que son factores que afectan el balance térmico de los animales. Los requerimientos de energía se incrementan linealmente cuando la temperatura del ambiente decrece, los autores sugieren que se debe a disminuciones en la eficiencia de utilización de la energía (Delfino y Mathison, 1991; Keren y Olson, 2006); sin embargo, algunos animales reducen sus requisitos de mantenimiento para disminuir el efecto de la exposición al frío (Keren y Olson, 2006). Otro de los

factores que afecta el gasto es el nivel de precipitación, ya que lluvias muy abundantes pueden aumentar la escorrentía, y baja la acumulación de agua en el suelo, así como la disminución en el crecimiento de forraje, aumentando el TP por la baja eficiencia de cosecha y se eleva el gasto de energía (Casasus *et al.*, 2002).

Terreno y vegetación

El pastoreo en terrenos montanos provoca que el gasto de energía a causa de caminar y de pastorear sea mayor (Di Marco y Aello, 1998). Por otro lado, aumentos de pedregosidad en los terrenos provocan aumento en el gasto de energía (Brosh *et al.*, 2006). Si los animales transitan por lugares donde la textura del suelo es arenosa se incrementa el gasto energético, al compararlo con terrenos firmes (Dijkman y Lawrence, 1997).

La vegetación juega un rol particularmente importante en su efecto en los requerimientos de pastoreo; la composición del forraje y su disponibilidad influye en la eficiencia de cosecha, provocando aumentos de TP y requerimientos (Brosh *et al.*, 2006). Susenbeth *et al.* (1998) reportan que forrajes con alto contenido de fibra provocan que los requisitos aumenten entre 10 y 30% por incremento en actividades de ingestión y rumia.

Di Marco y Aello (2003) encontraron que baja disponibilidad de forraje en la pradera provocaron mayores cambios en los requerimientos que las DR, ya que en condiciones en que se presentaron elevadas tasas de bocados, también aumentó el TP de 8 a 10 h d⁻¹ y la DR de 5 a 8 km d⁻¹; esto tuvo como consecuencia aumentos de 8 a 18% en los costos energéticos de mantenimiento. Por otra parte, Di Marco y Aello (2001) reportan que la ingesta de forraje dependió de la altura y masa de forraje; los autores encontraron aumentos de 16 a 52% en el gasto de energía cuando la disponibilidad de forraje disminuyó. Desde el punto de vista conceptual estos resultados implican que las características de baja masa y altura causaron reducciones en el peso de bocado, lo que tuvo como consecuencia aumentos en tasa de bocado y el

TP, mismas que a su vez implicaron incrementos en los requerimientos de energía.

2.3.4 Estimación de gasto energético

Brosh *et al.* (2006) concluyeron que debido principalmente a las diferencias en los métodos, el gasto energético en condiciones de pastoreo ha sido sobrestimado con frecuencia. Generalmente los requerimientos se determinan en cámaras metabólicas, sin embargo al utilizar estos datos en pastoreo los resultados son imprecisos (Keren y Olson, 2006). Por lo anterior, recientemente se ha optado por la aplicación de nuevas técnicas para su estimación.

Algunas de las nuevas técnicas empleadas son el uso de pulsos de O₂ y frecuencia cardiaca, las cuales proveen de mediciones aceptables en condiciones de pastizal (Brosh *et al.*, 1998). Otra de las técnicas utilizadas es la de Carbono 14 (Di Marco y Aello, 2001). También se utiliza la medición de parámetros fisiológicos relacionado con la producción de calor, y nivel productivo de carne y leche (Di Marco y Aello, 2003). Para determinar la DR se usan GPS (sistemas de posicionamiento global), ajustado con un equipo especializado que permite cuantificar las actividades que realizan los animales a lo largo del día (Ungar *et al.*, 2005; Brosh, 2007).

Mediciones en campo

Las técnicas tradicionalmente utilizadas para estimar requerimientos en pastoreo se basan en las mediciones de las actividades y son relativamente complicadas, debido a que es necesario identificar las distancias que recorren los animales en el terreno, así como el tiempo que dedican al pastoreo efectivo durante el día (Brosh *et al.*, 2006), que se ven influenciadas por las condiciones de la pradera, el terreno y de clima (Di Marco y Aello, 2003; Brosh *et al.*, 2006).

Algunas investigaciones tratan de identificar el efecto que tienen factores como el peso del animal, composición nutricional de la dieta, frecuencia de suministro

de alimento, radiación solar y manejo de los animales (Brosh *et al.*, 2006; Brosh, 2007).

Modelos de simulación

Keren y Olson (2006) usaron un modelo para estimar los requisitos de energía metabólica en vacas bajo condiciones frías; de acuerdo con sus resultados, vacas de 658 kg necesitan de $1.6 \text{ Kcal h}^{-1} \text{ kg}^{0.75}$ para pastorear libremente en la pradera. Los autores sugieren que el costo por permanecer en descanso echada, puede aminorar el gasto de energía en comparación con el costo de desplazarse o descansar de pie.

2.4 Literatura citada

- Aguilar C., R. Allende, D. Ocampos, y F. García. 2000. Producción de leche a pastoreo en el subtrópico con ganado cruza Holando Cebú: desarrollo y validación de un modelo de simulación. *Archivos de Zootecnia* 49: 457-468.
- Agricultural Research Council. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. 351 p.
- Araujo-Febres, O. 2005. Factores que afectan el consumo voluntario en bovinos a pastoreo en condiciones tropicales. *In*: IX Seminario de Pastos y Forrajes. Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Zulia. Maracaibo, Venezuela. 12 p.
- Baker, R. D. 2004. Estimating herbage intake from animal performance. *In*: Herbage intake handbook. Penning P. D. (ed). 2nd Edition. Published by The British Grassland Society. University of Reading, Reading, RG6 6AR. pp: 95-120.
- Banos, G., M. P. Coffey, and S. Brotherstone. 2005. Modeling daily energy balance of dairy cows in the first three lactations. *Journal of Dairy Science* 88: 2226–2237.
- Bodine, T. N., and H. T. Purvis. 2003. Effects of supplemental energy and/or degradable intake protein on performance, grazing behaviour, intake, digestibility, and fecal and blood indices by beef steers grazed on dormant native tallgrass prairie. *Journal of Animal Science* 81: 304-317.
- Brosh, A. 2007. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. *Journal of Animal Science* 85: 1213-1227.

- Brosh, A., Y. Aharoni, A. A. Degen, D. Wright, and B. Young. 1998. Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different conditions. *Journal of Animal Science* 76: 3050-3064.
- Brosh, A., Z. Henkin, E. D. Ungar, A. Dolev, A. Orlov, Y. Yehuda, and Y. Aharoni. 2006. Energy cost of cows grazing activity: use of the heart rate method and the global positioning system for direct field estimation. *Journal of Animal Science* 84: 1951-1967.
- Burns, J. C., and L. E. Sollenberg. 2002. Grazing behaviour of ruminants and daily performance from warm-season grasses. *Crop Science* 42: 873-881.
- Casasus, I., A. Sanz, D. Villalba, R. Ferrer, and R. Revilla. 2002. Factors affecting animal performance during the grazing season in a mountain cattle production system. *Journal of Animal Science* 80: 1638-1651.
- Caton, J. S., and D. V. Dhuyvetter. 1997. Influence of energy supplementation on grazing ruminants: requirements and responses. *Journal of Animal Science* 75: 533-542.
- Coffey, M. P., G. Simm, and S. Brotherstone. 2002. Energy balance profiles for the first three lactations of dairy cows estimated using random regression. *Journal of Dairy Science* 85: 2669-2678.
- Collard, B. L., P. J. Boettcher, J.C.M. Dekkers, D. Petitclerc, and L. R. Schaeffer. 2000. Relationships between energy balance and health traits of dairy cattle in early lactation. *Journal of Dairy Science* 83: 2683-2690.
- Chilibroste, P. 1999. Grazing time the missing link: a study of the plant-animal interface by integration of experimental and modelling approaches. Ph D Thesis, Animal Nutrition Group, Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands. 190 pp.
- De Vries, M. J., and R. F. Veerkamp. 2000. Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility. *Journal of Dairy Science* 83: 62-69.
- Delfino, J. G., and G. W. Mathison. 1991. Effects of cold environment and intake level on the energetic efficiency of feedlot steers. *Journal of Animal Science* 69: 4577-4587.
- Derno, M., W. Jentsch, M. Schweigel, S. Kuhla, C. C. Metges, and H. D. Matthes. 2005. Measurements of heat production for estimation of maintenance energy requirements of Hereford steers. *Journal of Animal Science* 83: 2590-2597.
- Dijkman, J. T., and P. R. Lawrence. 1997. The energy expenditure of cattle and buffaloes walking and working in different soil conditions. *Journal of Agricultural Science (Camb.)* 128: 95-103.
- Di Marco O. N., and M. S. Aello. 1998. Energy cost of cattle walking on the level and on a gradient. *Journal of Range Management* 51: 9-13.

- Di Marco O. N., and M. S. Aello. 2001. Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 53(1): 105-110.
- Di Marco O. N., y M. S. Aello. 2003. Costo energético de la actividad de vacunos en pastoreo y su efecto en la producción. Disponible en http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/ganaderia/bovinos/nutricion/costo_energ.htm Consultado el 15 de agosto de 2008.
- Espinoza-Ortega, A., A. Álvarez-Macías, M. C. Del Valle, y M. Chauvete. 2005. La economía en los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Técnica Pecuaria México* 43(1): 39-56.
- Forbes, T. D. A., F. M. Rouquette, and J. W. Holloway. 1998. Comparisons among Tuli-, Brahman-, and Angus-sired heifers: intake, digesta kinetics, and grazing behavior. *Journal of Animal Science* 76: 220-227.
- Freetly, H. C., J. A. Nienaber, and T. Brown- Brandl. 2006. Partitioning of energy during lactation of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science* 84: 2157-2162.
- Gekara, O. J., E. C. Prigge, W. B. Bryan, M. Schettini, E. L. Nestor, and E. C. Townsend. 2001. Influence of pasture sward height and concentrate supplementation on intake, digestibility, and grazing time of lactating beef cows. *Journal of Animal Science* 79: 745-752.
- Gregorini, P., M. Eirin, R. Refi, M. Ursino, O. E. Ansin, and S. A. Gunter. 2006. Timing of herbage allocation in strip grazing: effects on grazing pattern and performance of beef heifers. *Journal of Animal Science* 84: 1943-1950.
- Gregorini, P., S. A. Gunter, and P. A. Beck. 2008. Matching plant and animal processes to alter nutrient supply in strip-grazed cattle: timing of herbage and fasting allocation. *Journal of Animal Science* 86: 1006-1020.
- Huber, S. A., M. B. Judkins, L. J. Krysl, T. J. Svejcar, B. W. Hess, and D. W. Holcombe. 1995. Cattle grazing a riparian mountain meadow: effects of low and moderate stocking density on nutrition, behavior, diet selection, and plant growth response. *Journal of Animal Science* 73: 3752-3765.
- Jenkins, T. G., C. L. Ferrel, and A. J. Roberts. 2000. Lactation and calf weight traits of mature crossbred cows fed varying daily levels of metabolizable energy. *Journal of Animal Science* 78: 7-14.
- Johnson, J. A., J. S. Caton, W. Poland, D. R. Kirby, and D. V. Dhuyvetter. 1998. Influence of season on dietary composition, intake and digestion by beef steers grazing mixed-grass prairie in the Northern Great Plains. *Journal of Animal Science* 76: 1682-1690.
- Johnson, D. E., C. L. Ferrel, and T. G. Jenkins. 2003. The history of energetic efficiency research: where have we been and where are we going?. *Journal of Animal Science* 81 (E. Suppl. 1): E27:E38.

- Keren, E. N., and B. E. Olson. 2006. Thermal balance of cattle grazing winter range: model application. *Journal of Animal Science* 84:1238-1247.
- Krysl, L. J., and B. W. Hess. 1993. Influence of supplementation on behavior of grazing cattle. *Journal of Animal Science* 71: 2546-2555.
- Lachica, M., R. Somlo, F. G. Barroso, J. Boza, and C. Prieto. 1999. Goats locomotion energy expenditure under range grazing conditions: Seasonal variation. *Journal of Range Management* 52: 431-435.
- Lantinga, E. A., J. H. Neuteboom, and J. A. C. Meijs. 2004. Sward methods. *In: Herbage intake handbook*. Penning P. D. (ed). 2nd Edition. Published by The British Grassland Society. University of Reading, Reading, RG6 6AR. pp: 23-52.
- Lippke, H. 2002. Estimation on forage intake by ruminants on pasture. *Crop Science* 42: 869-872.
- Luginbuhl, J. M., K. R. Pond, J. C. Burns, and D. S. Fishers. 1994. Evaluation of the captec controlled-release chromic oxide capsule for fecal output determination in sheep. *Journal of Animal Science* 72: 1375-1380.
- Macon, B., L. E. Sollenberger, J. E. Moore, C. R. Staples, J. H. Fike, and K. M. Portier. 2003. Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *Journal of Animal Science* 81: 2357-2366.
- Moore, J. E., M. H Brant, W. E. Kunkle, and D. I. Hopkins. 1999. Effect of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. *Journal of Animal Science* Vol. 77. Suppl. 2/*Journal of Dairy Science* Vol 82. Suppl. 2: 122-135.
- National Research Council. 1981. *Nutritional Energetics of Domestic Animals & Glossary of Energy Terms*. Second Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C. 54 p.
- National Research Council. 1987. *Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals*. National Academies Press. Washington, D. C. 96 p.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*. National Academy Press, Washington, D. C. 408 p.
- Patiño-Pardo, R. M., V. Fischer, M. Balbinotti, C. B. Moreno, E. X. Ferreira, R. I. Vinhas, y P. L. Monks. 2003. Comportamento ingestivo diurno de novilhos em pastejo submetidos a níveis crescentes de suplementação energética. *Revista Brasileira de Zootecnia* 32(6): 1408-1418.
- Patiño-Pardo, R. M., K. González M., F. Porras S., L. Salazar R., C. Villalba S., y J. Gil B. 2008. Comportamiento ingestivo diurno y desempeño de novillos en pastoreo pertenecientes a tres grupos genéticos durante dos épocas climáticas. *Livestock Research for Rural Development* 20 (3). Disponible en <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd20/3/pati20036.htm> Consultado el 10 de diciembre de 2008.

- Penning, P.D. 2004. *Herbage Intake Handbook*. Second edition. Published by The British Grassland Society. University of Reading, Reading, RG6 6AR. 191 p.
- Schauer, C. S., D. W. Bohnert, D. C. Ganskopp, C. J. Richards, and S. J. Falck. 2005. Influence of protein supplementation frequency on cows consuming low-quality forage: performance, grazing behaviour, and variation in supplement intake. *Journal of Animal Science* 83: 1715-1725.
- Schwager-Suter, R., C. Stricker, D. Erdin, and N. Künzi. 2001. Quantification of changes in body weight and body condition scores during lactation by modeling individual energy balance and total net energy intake. *Animal Science* 72: 325-334.
- Smit, H. J., H. Z. Taweel, B. M. Tas, S. Tamminga, and A. Elgersma. 2005. Comparison of techniques for estimating herbage intake of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88: 1827-1836.
- Sprinkle, A. J., J. W. Holloway, B. G. Warrington, W. C. Ellis, J. W. Stuth, T. D. A. Forbes, and L. W. Greene. 2000. Digesta kinetics, energy intake, grazing behaviour, and body temperature of grazing beef cattle differing in adaptation to heat. *Journal of Animal Science* 78: 1608-1624.
- Stockdale, C. R. 2000. Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40: 913-921.
- Susenbeth, A., R. Mayer, B. Koehler, and O. Neumann. 1998. Energy requirement for eating in cattle. *Journal of Animal Science* 76: 2701-2705.
- Susenbeth, A., T. Dickel, K. H. Südekum, W. Drochner, and H. Steingäß. 2004. Energy requirements of cattle for standing and for ingestion, estimated by ruminal emptying technique. *Journal of Animal Science* 82: 129-136.
- Titgemeyer, E. C., C. K. Armendariz, D. J. Bindel, R. H. Greenwood, and C. A. Löest. 2001. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal Science* 79: 1059-1063.
- Ungar, E. D., Z. Henkin, M. Gutman, A. Dolev, A. Genizi, and D. Ganskopp. 2005. Inference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. *Rangeland Ecology & Management* 58: 256-266.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Vazquez, O. P., and T. R. Smith. 2001. Evaluation of alternative algorithms used to simulate pasture intake in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84: 860-872.
- Zanine, M. A., E. M. Santos, H. N. Parente, D. J. Ferreira, y P. R. Cecon. 2006. Comportamento ingestivo de bezerros em pastos de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*. *Ciência Rural*, Santa Maria 36(5): 1540-1545.

**3 BALANCE ENTRE CONSUMO Y GASTO DE ENERGÍA POR
ACTIVIDAD DE VACAS LECHERAS PASTOREANDO
PASTIZAL NATIVO**

RESUMEN

Balance entre consumo y gasto de energía por actividad de vacas lecheras pastoreando pastizal nativo

Heladio Crespo Lira

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera

Universidad Autónoma Chapingo

Director de Tesis: Ph.D. Ricardo D. Améndola Massiotti

La actividad de pastoreo en áreas montañas genera altos requerimientos energéticos, que pueden ocasionar balance energético negativo. El objetivo del presente estudio fue estimar el balance energético de la actividad de pastoreo de vacas lecheras en pastizal nativo. El experimento se realizó en las épocas seca y lluviosa en Marcos Castellanos, Michoacán, México (19° 59' N, 103° 01' O y 2000 msnm). En época seca se midió en dos unidades de producción (UP) identificadas como "D" y "F", en época lluviosa se midió adicionalmente en una tercera UP identificada como "A". En cada UP se midió en seis vacas durante dos y tres (épocas seca y lluviosa) ciclos de 24 horas por vaca. El balance energético de los animales y su actividad en pastoreo se calculó como la diferencia entre consumo y requerimientos. El consumo de forraje se calculó con base en producción fecal, y el consumo total como la suma del consumo de forraje y alimento suplementario. El requerimiento para pastoreo se calculó como la suma de los requerimientos para tiempo de pastoreo y distancia recorrida horizontal y vertical; el requerimiento total como la suma de los requerimientos para mantenimiento, producción y gestación. Para el análisis se utilizó un modelo mixto con efectos fijos de época, UP anidada en época, ciclo anidado en UP por época, etapa de lactancia y sus interacciones, y efecto aleatorio de vacas anidadas en UP. Los balances de la actividad de pastoreo fueron positivos en ambas épocas, con mayor margen positivo en época lluviosa ($p < 0.01$). El balance energético total en época seca fue negativo ($p < 0.01$) y en la UP F también lo fue en época lluviosa ($p < 0.05$). Se concluye que el balance energético de la actividad de pastoreo fue positivo en todas las UP para ambas épocas, pero el margen positivo en época seca fue estrecho.

Palabras clave: balance energético, consumo, requerimientos, pastoreo

ABSTRACT

Balance between energy intake and costs of the activity of dairy cows grazing on native range

Heladio Crespo Lira

Master's of Science Thesis in Cattle-Raising Innovation

Universidad Autónoma Chapingo

Thesis Advisor: Ricardo D. Améndola Massiotti Ph.D.

Grazing activity in hill country implies high energy requirements which might cause a negative energy balance of the activity. The aim of this experiment was to calculate the energy balance of the activity of dairy cows grazing on native range. The experiment was carried out during the dry and rainy seasons in Marcos Castellanos, Michoacán, México (19° 59' N, 103° 01' W, altitude 2000 m). During the dry season measurements were taken at two farms identified as "D" and "F"; during the rainy season measurements were also taken at a third farm identified as "A". At each farm measurements were taken on six cows during two and three (dry and rainy seasons) cycles of 24 hours per cow. The total energy balance of the cows and their grazing activity was calculated as the difference between energy intake and energy requirements. Herbage intake was calculated based on fecal output; total intake was calculated as the sum of herbage and supplementary feed intake. The energy requirement for grazing was calculated as the sum of the requirements for grazing time, distance walked and vertical displacement; total energy requirement was calculated as the sum of maintenance, production and gestation. Data were analyzed using a mixed model with fixed effects of season, farm nested in season, measurement cycle nested in farm per season, lactation phase and its interactions, and random effect of cows nested in farm. Energy balances of grazing were positive in both seasons, but the positive margin was greater in the rainy season ($p < 0.01$). Total energy balance during the dry season was negative ($p < 0.01$), and it was also negative at farm F during the rainy season ($p < 0.05$). It is concluded that energy balance was positive at all farms during both seasons, but the positive margin during the dry season was narrow.

Key words: energy balance, intake, requirements, grazing

3.1 Introducción

En los sistemas de producción de bovinos lecheros, la alimentación implica entre 46 y 56% de los costos de producción (Espinoza-Ortega *et al.*, 2005); por esta razón, los incrementos en eficiencia mediante el uso de estrategias de alimentación adecuadas, tienen un claro efecto positivo en la rentabilidad del sistema (Coffey *et al.*, 2002).

Los animales deben obtener del alimento ingerido, la energía necesaria para mantener su producción y condición corporal (Johnson *et al.*, 2003). La relación entre la ingesta de energía en el alimento y la energía que se pierde por el cuerpo se conoce como balance energético de los animales. En el caso de las vacas productoras de leche la energía tisular retenida es la suma de la energía tisular, la energía de lactación y la energía para los productos de la concepción (National Research Council, 1981). Si los requerimientos son superiores al consumo de energía, el balance energético resulta negativo, inicia el catabolismo de las grasas y hay pérdida de peso (Banos *et al.*, 2005).

Para animales en pastoreo los requerimientos se pueden incrementar hasta en un 50%, por concepto de las actividades involucradas en la cosecha de forraje, tales como el tiempo de pastoreo, el desplazamiento vertical y horizontal (Di Marco y Aello, 2001). Este requerimiento debe satisfacerse por la energía del forraje consumido en la pradera, pero no siempre resulta de esta forma, llevando a un balance negativo de la actividad de pastoreo (Patiño-Pardo *et al.*, 2003). Esta situación se puede agravar en pastizal nativo, ya que el forraje disponible depende de las especies propias del sistema y de las variaciones climáticas que definen la disponibilidad de forraje a lo largo del año (Johnson *et al.*, 1998). Por esta razón, es necesario implementar estrategias de manejo para mitigar el efecto de las condiciones desfavorables en los sistemas productivos en algunas épocas del año.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar el balance energético de la actividad de pastoreo de vacas lecheras en pastizal nativo durante las épocas lluviosa y seca.

3.2 Materiales y Métodos

3.2.1 Localización y duración

El experimento se llevó a cabo en el Municipio de Marcos Castellanos, ubicado en el noroeste del estado de Michoacán (19° 59' N, 103° 01' O y 2000 msnm). El clima del lugar es templado con lluvias en verano; con precipitación pluvial anual de 1000 mm y temperaturas que oscilan entre 10.4 y 25.4 °C (Gobierno del Estado de Michoacán, 2007).

La fase experimental se realizó en dos períodos, la primera, identificada como época seca, entre el 22 de diciembre de 2007 y 7 de enero de 2008; y la segunda identificada como época lluviosa, entre el 29 de junio y 19 de julio de 2008.

3.2.2 Unidades de producción y animales

Durante el primer período, las unidades de producción (UP) en las que se realizaron determinaciones fueron dos, identificadas como “D” y “F”; en cada una de ellas se llevaron a cabo dos ciclos de muestreo. En el segundo período se realizaron determinaciones en esas dos UP y en una tercera unidad que se identificó como “A”; en este período se realizaron tres ciclos de muestreo en cada UP.

Las mediciones se llevaron a cabo respetando el cronograma de trabajo de cada una de las UP; los productores ordeñaron dos veces al día, en horarios que variaron entre las 7:00 y 10:00 am para la ordeña matutina y 13:00 y 15:00 pm para la ordeña vespertina.

En cada UP se recabó información de seis vacas mismas que se escogieron aleatoriamente del hato en tres categorías: i) dos vacas en la primera mitad de

la lactancia, ii) dos vacas en la segunda mitad de la lactancia, y iii) dos vacas secas. Durante cada ciclo de muestreo la toma de datos duró dos días y en cada día se observaron tres de estas vacas. El peso vivo promedio de las vacas en las dos épocas de muestreo fue de 472 ± 9 kg.

Características de las unidades de producción

Cuadro 3.1. Características de las unidades de producción.

Característica	Unidades de producción		
	A	D	F
Superficie (ha)			
Total (ha)	18	20	17.75
Propia (ha)	0	0	7.75
Rentada (ha)	18	20	10
Uso del terreno (ha)			
Agrícola	10	5	5.25
Agostadero	8	15	10
Praderas	0	0	2.5
Ganado (número de animales)			
Total hato	58	29	48
Vacas en ordeña	15	10	13
Vacas secas	7	4	3
Instalaciones			
Bebederos	No	Sí	Sí
Bordo de agua	Sí	No	No
Corral de manejo	No	Sí	No
Comederos	Sí	Sí	Sí
Tajado para ordeña	Sí	Sí	Sí
Bodega o almacén	Sí	No	Sí
Ordeñadora	No	No	Sí
Fuentes de alimentación			
Praderas y agostadero	Sí	Sí	Sí
Período (meses)	12	12	12
Área (ha)	8	15	12.5
Alimentos balanceados	Sí	Sí	Sí
Período (meses)	12	12	12
Esquilmos agrícolas	rastrojo	rastrojo	rastrojo
Período (meses)	6	8	8

Las pendientes de los terrenos en que pastorearon las vacas se midieron empleando un clisímetro para registrar cada media hora y para cada vaca la pendiente entre los puntos más alto y más bajo de su recorrido (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Pendiente promedio de los terrenos en que pastorearon las vacas en cada período experimental y cada una de las unidades de producción.

UP	Época seca		Época lluviosa	
	Valor (%)	E. S.	Valor (%)	E. S. ^z
A			23.9	0.9
D	15.4	0.9	19.8	0.7
F	21.9	1.8	26.4	0.7
Promedio	18.6	1.7	23.4	1.0

^z ES: Error estándar

3.2.3 Determinaciones

El balance energético de los animales y de su actividad en pastoreo se calculó como la diferencia entre las estimaciones de consumo de energía y requerimientos de energía.

Estimación de consumo

El consumo de alimento se estimó con base en determinaciones del consumo de forraje, el consumo de alimento suplementario y la producción fecal (ecuaciones 3, 4, 5 y 6).

$$\text{CMS} = \text{CAS} + \text{CFP} \quad 3$$

$$\text{CAS} = \text{AO} - \text{AR} \quad 4$$

$$\text{CFP} = (\text{CAI}_H \times \text{PF}) - (\text{CAI}_S \times \text{CAS}) / \text{CAI}_F \quad 5$$

$$\text{PF} = M_D / M_H \quad 6$$

donde:

CMS = consumo de materia seca (kg MS vaca⁻¹ d⁻¹)

CAS = consumo de alimento suplementario (kg MS vaca⁻¹ d⁻¹)

AO = alimento suplementario ofrecido (kg MS vaca⁻¹ d⁻¹)

AR = alimento suplementario residual (kg MS vaca⁻¹ d⁻¹)

CFP = consumo de forraje de pastoreo (kg vaca⁻¹ d⁻¹)

CAI_H = concentración de cenizas ácido-insoluble (CAI) en heces (g kg⁻¹ MS)

PF = producción fecal (kg d⁻¹)

CAI_S = concentración de CAI en el alimento suplementario ($g\ kg^{-1}\ MS$)

CAI_F = concentración de CAI en el forraje ($g\ kg^{-1}\ MS$)

M_D = dosis del marcador ($g\ d^{-1}$)

M_H = concentración del marcador en heces ($g\ g^{-1}\ MS$)

El consumo de MS total se calculó por medio de la sumatoria del consumo de alimentos suplementario y del consumo de forraje en pradera, las determinaciones de ambas variables se realizaron individualmente.

El consumo de alimento suplementario, se determinó a partir del pesaje del alimento ofrecido y el alimento residual en ambas ordeñas para cada vaca, con una báscula digital con precisión de 0.1 kg (Torrey ®); asimismo se tomaron muestras de alimento suplementario para su análisis.

El consumo de forraje de pastoreo se calculó por medio de la ecuación 5, para lo cual se estimó la producción fecal total, a partir de un marcador externo (óxido crómico) y la concentración de ceniza ácido insoluble tanto en alimento suplementario como en forraje y heces. La dosificación con óxido crómico se inició siete días antes de la toma de muestras y se realizó durante cada ordeña con $5\ g\ vaca^{-1}$ en cada ocasión; el marcador se suministró mezclado con el alimento suplementario (Penning, 2004). Las muestras de heces se obtuvieron directamente del recto en cada ordeña.

Para el análisis del alimento suplementario, forraje y heces, se formaron para la época seca, muestras compuestas por animal por época, y para la época lluviosa las muestras compuestas se conformaron por animal por cada ciclo.

La determinación de Cr se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer modelo AAnalyst 700), mediante la técnica descrita por Williams *et al.* (1962), y se calculó la producción fecal utilizando la ecuación 6. La concentración de ceniza ácido insoluble se realizó para todas las muestras de alimento suplementario, forraje y heces con el uso de la metodología descrita por Van Keulen y Young (1977).

Se obtuvieron muestras de forraje cada media hora (durante el pastoreo diurno) usando la técnica “Hand plucking” descrita por Penning (2004). A las muestras compuestas de alimento suplementario y de forraje se les determinó fibra detergente ácido, fibra detergente neutro (Van Soest *et al.*, 1991), proteína cruda (PC) y cenizas (AOAC, 1990). La composición nutricional de la dieta mixta se calculó como los productos de consumo de cada fracción y sus respectivos contenidos nutrimentales.

El consumo de energía se calculó a partir de las estimaciones de consumo de energía del alimento suplementario y consumo de energía del forraje.

$$CTEN_L = CASEN_L + CFEN_L \quad 7$$

$$CASEN_L = CAS \times ASEN_L \quad 8$$

$$CFEN_L = CFP \times FEN_L \quad 9$$

$$ASEN_L = 2.2 \times (0.866 - 0.007 \times FDA) \quad 10$$

$$FEN_L = 1.704 - 0.140 \times FDA \quad 11$$

donde:

$CTEN_L$ = consumo total de energía neta de lactancia (Mcal vaca⁻¹ día⁻¹)

$CASEN_L$ = consumo de energía con el alimento suplementario (Mcal vaca⁻¹ día⁻¹)

$CFEN_L$ = consumo de energía con el forraje de pastoreo (Mcal vaca⁻¹ día⁻¹)

$ASEN_L$ = concentración de energía en el alimento suplementario (Mcal kg⁻¹ MS)

FDA = fibra detergente ácido (%)

FEN_L = concentración de energía en el forraje de pastoreo (Mcal kg⁻¹ MS)

El consumo de energía se calculó como la suma del consumo de energía consumida con el alimento suplementario y con el forraje de pastoreo (ecuación 7). Los consumos de energía con el alimento suplementario y el forraje de pastoreo se calcularon como los productos de los consumos de MS de cada fracción y los respectivos contenidos de EN_L (ecuaciones 8 y 9). Para

determinar la concentración de energía del alimento suplementario se utilizó la ecuación 10 propuesta por Wright *et al.* (1998), mientras que para el caso de los forrajes se utilizó la ecuación 11 propuesta por Harlan *et al.* (1991).

Estimación de los requerimientos energéticos

Los requerimientos energéticos se calcularon como la suma de los requerimientos para producción, gestación y mantenimiento.

Requerimientos para producción

Los requerimientos energéticos para producción se calcularon a partir de la producción de leche y el requerimiento energético por kilogramo de leche. La producción de leche se midió pesando la leche de cada vaca en cada ordeña usando una báscula digital con precisión de 0.1 kg (Torrey ®). El requerimiento energético por kilogramo de leche se calculó con base en el contenido de grasa por medio de la ecuación 12 propuesta por Tyrrel y Reid (1965). El contenido de grasa de la leche de cada vaca en cada ordeña se midió empleando un equipo analizador de leche Ekomilk ®.

$$EN_L = 0.360 + 0.0969 \times G \quad 12$$

donde:

EN_L = energía neta de lactancia (Mcal kg^{-1} de leche)

G = contenido de grasa en leche (%)

Los requerimientos energéticos para cambios de peso se calcularon con base en el cambio de peso y los estimadores propuestos por Agricultural Research Council (1980), por lo que se consideró que cada kilogramo de ganancia de peso implicó un costo de 5.29 Mcal EN_L y cada kilogramo de pérdida de peso liberó 5.09 Mcal EN_L . Para estimar el cambio de peso se pesaron las vacas durante tres días consecutivos al inicio y final de cada período experimental; se calcularon los promedios de los pesos iniciales y finales y el cambio de peso se estimó como la diferencia entre esos pesos. Las vacas se pesaron empleando una báscula digital con precisión de 1 kg (True Test®).

Requerimientos para gestación

Los productores carecían de registros detallados del desempeño reproductivo de las vacas, por lo que fue necesario considerar estimadores genéricos para calcular los requerimientos de gestación; para efectos de ese cálculo se consideró que los productores secaban las vacas dos meses antes del parto. Con base en lo anterior y de acuerdo con Agricultural Research Council (1980) se estimó que el requerimiento para gestación de las vacas en producción era negligible; también con esa base se asumió que las vacas secas tenían por lo menos 32 semanas de gestación.

$$EUG = 151.665 - 151.64 \times \exp^{-0.0000576D} \quad 13$$

$$EG = (EUG_{281} - EUG_{221}) / (0.21 \times 860) \quad 14$$

donde:

EUG = contenido energético del útero gestante (Mcal EN_L d⁻¹)

D = día de gestación

EG = requerimientos energéticos de gestación (Mcal EN_L d⁻¹)

EUG₂₂₁ y EUG₂₈₁ = contenido energético del útero gestante a los 221 y 281 días de gestación, respectivamente

El requerimiento energético para los dos últimos meses de gestación se calculó a partir del promedio diario del incremento en contenido energético del útero gestante entre los 221 y 281 días de gestación, para lo cual se emplearon las ecuaciones 13 y 14. Los coeficientes empleados en esas ecuaciones fueron tomados de Agricultural Research Council (1980); los resultados obtenidos fueron similares a los que se lograron empleando las ecuaciones propuestas por Bell *et al.* (1995) que son la base del cálculo de requerimientos de gestación empleados por National Research Council (2001).

Requerimientos para mantenimiento

Los requerimientos de mantenimiento se calcularon por medio de las ecuaciones 15 y 16 y los estimadores reportados en el Cuadro 3.3.

$$RM = RMB + RCS + RR + RPP + RCP + RAP \quad 15$$

$$RAP = RTP + RDH + RDV \quad 16$$

donde:

RM = requerimientos para mantenimiento (Mcal $EN_L d^{-1}$)

RMB = requerimientos para metabolismo de ayuno

RCS = requerimientos para consumo de alimento suplementario

RR = requerimientos para rumia

RPP = requerimientos para posición de pie

RCP = requerimientos para cambio de posición

RAP = requerimientos para actividad de pastoreo

RTP = requerimientos para tiempo de pastoreo

RDH = requerimientos para desplazamiento horizontal

RDV = requerimientos para desplazamiento vertical

Las actividades de las vacas se registraron por medio de observación directa con registros cada cinco minutos; las actividades se clasificaron de la siguiente forma: rumia de pie, rumia echada, descansa echada, descansa de pie, pastorea, camina y consume alimento suplementario.

Para estimar los requerimientos para desplazamiento horizontal se emplearon equipos GPS (Global Positional System), que permiten medir las DR por los animales (Ungar *et al.*, 2005); las distancias se registraron con intervalos de cinco minutos. Los mismos equipos se usaron para registrar la altitud de las posiciones de los animales cada cinco minutos y estos datos se emplearon para calcular el desplazamiento vertical; se consideró que los errores en la estimación de altitud de los GPS tendrían efecto compensatorio, lo cual se verificó analizando la relación entre el desplazamiento vertical calculado de esta

forma y la pendiente general registrada cada media hora por medio de un clisímetro.

Cuadro 3.3. Estimadores empleados para el cálculo de requerimientos para mantenimiento.

Requerimiento	Valor	Unidades	Referencia
Metabolismo de ayuno	0.53	Mcal $EN_L \text{ kg}^{-1} \text{ PV}^{0.67}$	Agricultural Research Council (1980)
Consumo de alimento suplementario	239.0	cal $EN_L \text{ h}^{-1} \text{ kgPV}^{-1}$	Agricultural Research Council (1980)
Rumia	239.0	cal $EN_L \text{ h}^{-1} \text{ kgPV}^{-1}$	Agricultural and Food Research Council (1993)
Posición de pie	99.6	cal $EN_L \text{ h}^{-1} \text{ kgPV}^{-1}$	Agricultural and Food Research Council (1993)
Cambio de posición	62.1	cal $EN_L \text{ cambio}^{-1} \text{ kgPV}^{-1}$	Agricultural and Food Research Council (1993)
Tiempo de pastoreo	549.7	cal $EN_L \text{ h}^{-1} \text{ kgPV}^{-1}$	Agricultural Research Council (1980)
Desplazamiento horizontal	0.62	cal $EN_L \text{ m}^{-1} \text{ kgPV}^{-1}$	Agricultural Research Council (1980)
Desplazamiento vertical	6.4	cal $EN_L \text{ m}^{-1} \text{ kgPV}^{-1}$	Agricultural Research Council (1980)

Mediciones adicionales

Se realizaron determinaciones adicionales para describir algunos aspectos que pueden apoyar la discusión de los resultados.

- ✓ Se midió el tiempo de permanencia en las estaciones de alimentación, así como la distancia entre estaciones de alimentación y el tiempo que llevaba realizar este recorrido. De acuerdo a Gregorini *et al.* (2008) la estación de alimentación es el sitio en el cual permanece el animal tomando bocados sin mover sus patas delanteras. Las variables medidas apoyan la descripción del potencial de apacentamiento de los pastizales. Las mediciones de distancia se llevaron a cabo con el uso de GPS, mientras que para el tiempo de permanencia en la estación de alimentación y el tiempo entre estaciones de alimentación se utilizaron cronómetros. Se realizaron tres observaciones en cada lapso de media hora.

- ✓ Se calculó la tasa de bocado a partir de los resultados de mediciones del tiempo requerido para tomar 20 bocados por observación directa de los animales. Para las mediciones se emplearon cronómetros y se realizaron tres observaciones en cada lapso de media hora.

3.2.4 Análisis estadístico

En el análisis de todas las variables de respuesta se utilizó un modelo mixto que consideró como efectos fijos la época de año y UP anidada en época, el ciclo anidado en UP por época, etapa de lactancia y sus interacciones y como efecto aleatorio se consideraron las vacas anidadas en las UP. Para el análisis de TP y DR el modelo incluyó como efecto fijo la sesión de pastoreo en función del momento del día: “matutina” entre la ordeña matutina y la vespertina y “vespertina–nocturna” entre la ordeña vespertina y la matutina del día siguiente. En el caso de calidad de forraje y de la dieta mixta se utilizó un modelo multivariado en el que se consideraron como efectos la época de año, la UP anidada en época, el ciclo anidado en UP por época, etapa de la lactancia y sus interacciones.

La información se analizó con el procedimiento MIXED de SAS (2004). Para el análisis con el modelo multivariado se utilizó el procedimiento GLM de SAS (2004). Se compararon las medias empleando la prueba T ajustada por Tukey.

3.3 Resultados

3.3.1 Comportamiento ingestivo de los animales en pastoreo

Como se muestra en el Cuadro 3.4, la distancia entre estaciones de alimentación, el tiempo empleado para desplazarse entre estaciones de alimentación y la permanencia en las estaciones de alimentación fueron mayores en la época seca ($p < 0.05$) que en la época lluviosa; la tasa de bocado fue mayor en la época lluviosa ($p < 0.05$). La tasa de bocado durante la época seca en la UP D fue mayor ($p < 0.01$) que en la UP F; en la época lluviosa en la

UP A fue menor ($p<0.05$) que en la UP F, pero similar ($p<0.15$) a la de la UP D. En el caso de las demás variables no se encontró efecto de UP.

Cuadro 3.4. Tasa de bocado, distancia entre estaciones de alimentación, tiempo de permanencia en las estaciones de alimentación y tiempo empleado para desplazamiento entre estaciones de alimentación de vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.

Época	Unidades de producción						Media			
	A		D		F					
<i>Tasa de bocado (bocados min⁻¹)</i>										
Secas			43.3	x	b	30.2	y	b	36.7	B
Lluvias	53.7	y	61.3	xy	a	63.3	x	a	59.4	A
<i>Distancia entre estaciones de alimentación (m)</i>										
Secas			3.4	x	a	4.1	x	a	3.7	A
Lluvias	1.6	x	1.7	x	b	1.6	x	b	1.6	B
<i>Tiempo de permanencia en las estaciones de alimentación (seg)</i>										
Secas			21.2	x	a	19.6	x	a	20.4	A
Lluvias	18.7	x	17.0	x	a	15.0	x	a	16.9	B
<i>Tiempo entre estaciones de alimentación (seg)</i>										
Secas			10.9	x	a	8.3	x	a	9.6	A
Lluvias	6.9	x	4.9	x	b	4.4	x	b	5.4	B

^{x,y} Medias sin una misma literal dentro de hilera y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{a, b} Medias sin una misma literal dentro de columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{A, B} Medias sin una misma literal dentro columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

Las variables DR y TP fueron 22% menores ($p<0.01$) en la época seca que en la época lluviosa (Cuadro 3.5); las variables DR y TP durante la sesión matutina fueron menores ($p<0.01$) que en la sesión vespertina-nocturna, en ambas épocas. Durante la época seca DR y TP en la UP F fueron menores que en la UP D.

Durante la época lluviosa la UP F tuvo mayores ($p<0.01$) DR y TP totales que las UP A y D. En la UP F DR y TP totales fueron mayores en la época lluviosa ($p<0.01$) que en la época seca.

La pendiente promedio del recorrido de las vacas fue mayor en la época seca ($p<0.01$); en la época seca fue mayor ($p<0.01$) en la UP F que en la UP D; en la época lluviosa no se encontró efecto de UP ($p>0.05$).

Cuadro 3.5. Tiempo de pastoreo y distancia recorrida por sesión[‡] de pastoreo de vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.

Época	Sesión	Unidades de producción								Media	
		A		D		F					
<i>Tiempo de pastoreo (min)</i>											
Secas	AM			84.1	x	b	10.2	y	c	305.2	B
	PM			227.7	x	a	289.2	x	b		
	Total			311.5	X	X	299.4	X	Y		
Lluvias	AM	52.8	x	82.8	x	b	110.0	x	d	392.2	A
	PM	296.1	y	263.3	y	a	371.7	x	a		
	Total	348.9	Y	346.1	Y	X	481.7	X	X		
<i>Distancia recorrida (m)</i>											
Secas	AM			815.8	x	b	301.1	y	d	2 473.3	B
	PM			1 659.6	y	a	2 170.0	x	b		
	Total			2475.5	X	X	2471.1	X	Y		
Lluvias	AM	544.2	x	832.6	x	b	848.7	x	c	3 188.1	A
	PM	2 273.5	y	1 987.1	y	a	3 078.3	x	a		
	Total	2817.7	Y	2819.8	Y	X	3926.9	X	X		
<i>Pendiente del recorrido de las vacas (%)</i>											
Secas				12.1	x	a	8.3	y	a	10.2	A
Lluvias		8.7	x	9.2	x	b	8.5	x	a	8.8	B

^{x,y} Medias sin una misma literal dentro de hilera y para cada variable, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^{a, b, c, d} Medias sin una misma literal dentro de columna y para cada variable, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^{A, B} Medias sin una misma literal dentro columna y para cada variable, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^{X, Y} Medias sin una misma literal dentro hilera y para cada variable, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^{x, y} Medias sin una misma literal dentro columna y para cada variable, son diferentes ($p \leq 0.05$).

[‡] AM = sesión matutina; PM = sesión vespertina-nocturna.

3.3.2 Balance de energía

Los requerimientos para la actividad de pastoreo se calcularon como la suma de requerimientos para TP, desplazamiento horizontal y desplazamiento vertical. La relación entre TP y desplazamiento horizontal fue muy estrecha ($R^2=0.94$, $p<0.01$). Los requerimientos para TP (Cuadro 3.6) fueron mayores ($p<0.01$) en la época lluviosa. Durante la época seca, los requerimientos para TP de las vacas de las UP D y F resultaron iguales ($p>0.99$), mientras que en la época lluviosa fueron mayores en la UP F que en la UP A ($p<0.05$) y la UP D ($p<0.01$). En estrecha relación con estos resultados, los requerimientos para desplazamiento horizontal (Cuadro 3.6) fueron mayores en la época lluviosa ($p<0.01$). En la época seca los requerimientos para desplazamiento horizontal

de las vacas fueron iguales en las UP D y F ($p>0.99$). En la época lluviosa los requerimientos para desplazamiento horizontal en las UP A y D resultaron iguales ($p>0.25$), en tanto que en la UP D fueron menores a los de la UP F ($p<0.01$).

Cuadro 3.6. Requerimientos energéticos para tiempo de pastoreo, desplazamiento horizontal y vertical de vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.

Época	Unidades de producción						Media			
	A		D		F					
<i>Tiempo de pastoreo (Mcal d¹)</i>										
Secas			1.4	x	a	1.4	x	b	1.4	B
Lluvias	1.6	y	1.4	y	a	2	x	a	1.6	A
<i>Desplazamiento horizontal (Mcal d¹)</i>										
Secas			0.7	x	a	0.8	x	b	0.7	B
Lluvias	0.9	y	0.8	y	a	1.1	x	a	0.9	A
<i>Desplazamiento vertical (Mcal d¹)</i>										
Secas			0.9	x	a	0.6	y	b	0.8	A
Lluvias	0.8	y	0.7	y	a	1.0	x	a	0.8	A

^{x,y} Medias sin una misma literal dentro de hilera y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{a, b} Medias sin una misma literal dentro de columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{A, B} Medias sin una misma literal dentro columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

Los requerimientos para desplazamiento vertical (Cuadro 3.6) fueron iguales entre épocas ($p>0.12$); en la época seca fueron mayores en la UP D que en la UP F ($p<0.01$); en la época lluviosa fueron iguales en las UP A y D ($p>0.98$), y en la UP F fueron mayores que en la UP A y D ($p<0.05$).

Los consumos y los requerimientos se expresan con base en Mcal EN_L d⁻¹. El consumo total (Cuadro 3.7) fue menor en la época seca ($p<0.01$). Los mayores consumos totales se presentaron en las UP A y D durante la época lluviosa. En la época seca los consumos totales fueron similares en las UP F y D ($p>0.98$), en tanto que en el caso de la UP D fueron menores en la época seca que en la lluviosa ($p<0.05$); sin embargo, en la UP F no se detectó efecto de la época en los consumos totales de EN_L.

El consumo del forraje de pastoreo fue 57% mayor ($p<0.01$) en la época lluviosa que en la época seca (Cuadro 3.7). En la época seca, el aporte del pastoreo en el consumo total de energía fue bajo (en promedio 25%), en tanto que durante la época lluviosa si bien en términos relativos se duplicó (47%), salvo en el caso de la UP F, el aporte fue menor al del alimento suplementario.

Cuadro 3.7. Consumo, requerimientos y balance de energía de vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.

Época	Unidades de producción							Media		
	A		D		F					
<i>Consumo de energía total (Mcal EN_L)</i>										
Secas			18.5	x	b	19.5	x	a	19.0	B
Lluvias	26.4	x	23.2	xy	a	19.3	y	a	23.0	A
<i>Consumo de energía del forraje de pastoreo (Mcal EN_L)</i>										
Secas			5.1	x	b	4.3	x	b	4.7	B
Lluvias	10.8	x	10.8	x	a	11.0	x	a	10.8	A
<i>Requerimientos de energía totales (Mcal EN_L)</i>										
Secas			20.5	x	a	22.3	x	a	21.4	A
Lluvias	23.8	x	18.0	z	b	20.7	y	a	20.8	A
<i>Requerimientos de energía de la actividad de pastoreo (Mcal EN_L)</i>										
Secas			3.0	x	a	2.8	x	b	2.9	B
Lluvias	3.2	y	2.9	y	a	4.1	x	a	3.4	A
<i>Balance energético total (Mcal EN_L)</i>										
Secas			-2.1	x	b	-2.9	x	a	-2.5	B
Lluvias	2.6	xy	5.2	x	a	-1.3	y	a	2.2	A
<i>Balance energético de la actividad pastoreo (Mcal EN_L)</i>										
Secas			2.1	x	b	1.6	x	b	1.8	B
Lluvias	7.6	x	7.9	x	a	6.9	x	a	7.5	A

^{x,y,z} Medias sin una misma literal dentro de hilera y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{a, b} Medias sin una misma literal dentro de columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{A, B} Medias sin una misma literal dentro columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

Los requerimientos totales no fueron diferentes entre épocas ($p>0.14$). Durante la época seca, los requerimientos totales de las vacas de la UP F tendieron a ser mayores ($p>0.1$) que los de las vacas de la UP D, mientras que en la época lluviosa los requerimientos de las vacas en la UP A fueron mayores que los de la UP F y que los de la UP D ($p<0.05$). Por su parte, las vacas de la UP D tuvieron mayores requerimientos totales ($p<0.01$) durante la época seca que en

la época lluviosa, y los requerimientos totales para las vacas de la UP F tuvieron similar tendencia ($p>0.05$) entre épocas (Cuadro 3.7).

Los requerimientos para pastoreo fueron menores en la época seca ($p<0.01$); durante la época lluviosa fueron mayores en la UP F que en las UP A y D ($p<0.01$); en la UP F fueron mayores ($p<0.01$) en la época lluviosa que en la época seca (Cuadro 3.7). Los requerimientos para la actividad de pastoreo representaron 16% de los requerimientos totales en la época lluviosa y 14% en la época seca.

Los requerimientos para rumia fueron mayores ($p<0.01$) en la época seca que en la época lluviosa (0.79 vs 0.51 Mcal vaca⁻¹ d⁻¹); no se encontró efecto de UP ($p>0.05$). El comportamiento de los requerimientos para cambio de posición (0.38 vs 0.28 Mcal vaca⁻¹ d⁻¹) y consumo de suplemento (0.41 vs 0.20 Mcal vaca⁻¹ d⁻¹) fue muy similar a los de rumia. Por otro lado, los requerimientos para permanecer de pie (0.29 vs 0.37 Mcal vaca⁻¹ d⁻¹) fueron mayores en la época lluviosa ($p<0.01$), mientras que en la misma época los requerimientos para permanecer de pie en la UP F fueron menores que en las UP A y D ($p<0.05$).

El balance energético durante la época seca fue negativo ($p<0.01$; Cuadro 3.7) sin efecto de UP ($p>0.99$); el balance en la UP F fue igual en ambas épocas ($p>0.87$), mientras que en la UP D pasó de negativo en la época seca a positivo en la época lluviosa ($p<0.01$). Durante la época lluviosa, el balance en la UP F fue negativo, mientras que en las UP A y D fue positivo.

Los balances de la actividad de pastoreo (Cuadro 3.7), en ambas épocas fueron positivos; sin embargo, en la época lluviosa el balance tuvo un valor positivo más alto que en la época seca ($p<0.01$).

El consumo total de MS (Cuadro 3.8) fue menor ($p<0.01$) en la época seca; la única diferencia entre las distintas UP se presentó durante la época lluviosa, con mayores ($p<0.05$) consumos totales de MS en la UP A que en la UP F.

El consumo de MS de alimento suplementario fue mayor ($p<0.01$) durante la época seca (Cuadro 3.8). En el época seca las vacas de la UP F ingirieron más alimento suplementario ($p<0.01$) que las vacas de la UP D; mientras que en la época lluviosa (Cuadro 3.8) ocurrió lo contrario ($p<0.01$); durante la época lluviosa el consumo de alimento suplementario en la UP D fue menor ($p<0.01$) que en la UP A.

El aporte (%) de MS de alimento suplementario (Cuadro 3.8) en la época lluviosa fue 21% menor que en la época seca, en tanto que el de forraje de pastoreo fue 47% mayor. En el caso particular de la UP F el consumo de alimento suplementario en la época lluviosa fue 48% menor que en la época seca.

El consumo de forraje de pastoreo (MS) tuvo un comportamiento inverso al consumo de alimento suplementario, ya que fue menor ($p<0.01$) en la época seca que en la época lluviosa. En la época seca, el consumo de MS de forraje de pastoreo fue mayor en la UP F que en la UP D ($p<0.01$); mientras que en la época lluviosa fue mayor en la UP A que en las UP D y F ($p<0.01$).

Cuadro 3.8. Consumo de forraje de pastoreo, de alimento suplementario y total (MS), por vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.

Época	Unidades de producción							Media		
	A		D		F					
Consumo total de alimento (kg MS)										
Secas			12.9	x	a	14.2	x	a	13.5	B
Lluvias	16.7	x	15.6	xy	a	13.8	y	a	15.4	A
Consumo de alimento suplementario (kg MS)										
Secas			8.2	y	a	10.2	x	a	9.2	A
Lluvias	9.2	x	7.4	y	b	5.3	z	b	7.3	B
Consumo de forraje de pastoreo (kg MS)										
Secas			4.7	x	b	4.0	x	b	4.3	B
Lluvias	7.5	x	8.3	x	a	8.5	x	a	8.1	A

^{x,y,z} Medias sin una misma literal dentro de hilera y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{a, b} Medias sin una misma literal dentro de columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{A, B} Medias sin una misma literal dentro columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

3.3.3 Composición nutricional

El contenido de EN_L de los alimentos, requerido para los cálculos de balances energéticos de las vacas, se estimó a partir del contenido de FDA; por esa razón se presentan resultados de análisis estadístico de los contenidos de FDA y no de EN_L . Durante la época seca, los contenidos de la dieta mixta (Cuadro 3.9) en términos de ceniza y PC fueron menores que en la época lluviosa ($p<0.01$) y el contenido de FDN fue mayor en la época seca ($p<0.01$). En la época seca el contenido de ceniza fue mayor ($p<0.05$) en la UP D que en la UP F; en la época lluviosa, fue mayor ($p<0.05$) en la UP D que en la UP A. En la época lluviosa el contenido de FDA fue mayor en la UP F que en las UP A y D ($p<0.05$). En la época lluviosa se presentaron aumentos de 24% para PC.

Cuadro 3.9. Composición nutricional de la dieta mixta ingerida por vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.

Época	Unidades de producción								Media	
	A		D			F				
Ceniza (%)										
Secas			10.1	x	b	8.6	y	b	9.3	B
Lluvias	11.5	y	12.9	x	a	11.8	xy	a	12.0	A
FDA (%)										
Secas			25.3	x	a	27.6	x	a	26.4	A
Lluvias	22.0	z	25.8	y	a	29.9	x	a	25.9	A
FDN (%)										
Secas			60.9	x	a	65.5	x	a	63.2	A
Lluvias	51.2	x	50.0	x	b	51.7	x	b	51.0	B
PC (%)										
Secas			14.2	x	b	12.5	x	b	13.4	B
Lluvias	18.0	x	18.3	x	a	17.0	x	a	17.7	A

^{x,y,z} Medias sin una misma literal dentro de hilera y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{a, b} Medias sin una misma literal dentro de columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{A, B} Medias sin una misma literal dentro columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

En el Cuadro 3.10 se presentan los resultados de la composición nutricional del forraje de pastoreo. En la época seca se obtuvieron menores ($p<0.01$) concentraciones de ceniza y PC; y mayores concentraciones de FDA y FDN ($p<0.01$). Durante la época seca la composición nutricional del forraje de

pastoreo fue similar en las UP D y F ($p>0.05$). En la época lluviosa, se encontraron variaciones en el contenido nutricional de forraje de pastoreo, siendo menor el contenido de FDA para la UP A ($p<0.01$) que las UP D y F; con disminuciones ($p<0.01$) de PC en la UP F con respecto de la UP A. Para los forrajes de pastoreo de las UP D y F, las concentraciones de FDA y FDN fueron mayores en la época seca ($p<0.05$), y se encontraron menores ($p<0.05$) concentraciones de PC que durante la época lluviosa.

El contenido nutricional del forraje (Cuadro 3.10) consumido fue superior en la época lluviosa, en cuestiones de PC, FDA y FDN. El contenido de FDN fue mayor en la época seca que en la época lluviosa sin efecto de UP. En las UP D y F, el contenido de PC del forraje de pastoreo fue 66% mayor en la época lluviosa ($p<0.01$).

Cuadro 3.10. Composición nutricional del forraje consumido por vacas lecheras pastoreando pastizal nativo en dos épocas del año.

Época	Unidades de producción								Media	
	A		D		F					
Ceniza (%)										
Secas			11.3	x	a	10.6	x	a	10.9	B
Lluvias	13.5	x	14.5	x	a	13.1	x	a	13.7	A
FDA (%)										
Secas			44.9	x	a	44.2	x	a	44.6	A
Lluvias	19.7	y	28.9	x	b	31.2	x	b	26.6	B
FDN (%)										
Secas			74.6	x	a	77.0	x	a	75.8	A
Lluvias	51.2	x	53.3	x	b	53.2	x	b	52.6	B
PC (%)										
Secas			6.8	x	b	5.8	x	b	6.3	B
Lluvias	21.2	x	19.7	xy	a	16.9	y	a	19.3	A

^{x,y} Medias sin una misma literal dentro de hilera y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{a, b} Medias sin una misma literal dentro de columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^{A, B} Medias sin una misma literal dentro columna y para cada variable, son diferentes ($p\leq 0.05$).

3.4 Discusión

3.4.1 Actividad de vacas lecheras en pastoreo

La relación que se encontró entre las medias de mínimos cuadrados de TP y DR (Figura 1) fue lineal y el coeficiente de regresión tendió ($p < 0.08$) a ser menor para la sesión matutina que para la vespertina-nocturna, con aparentemente la misma relación para los distintos ranchos en las diferentes épocas. Esta relación implicó tasas de desplazamiento de 6.1 y 9.9 m min⁻¹ para ambas sesiones respectivamente. El desplazamiento estuvo centralmente asociado a la actividad de pastoreo y probablemente debido a las pendientes relativamente similares en las distintas unidades de producción, la velocidad se ubicó entre aproximadamente 0.4 y 0.6 km h⁻¹. Esta velocidad resultó menor a la supuesta por Sosa *et al.* (1997) en el diseño de metodología para evaluar el efecto de pisoteo (5 km h⁻¹). Tomando en cuenta que la mayor velocidad reduce el área de pezuñas apoyadas, por tanto aumenta la presión ejercida y como consecuencia la magnitud del efecto de pisoteo, es probable que los resultados obtenidos por estos autores impliquen sobrestimaciones de los efectos de pisoteo.

El menor TP y DR durante la época seca (Cuadro 3.5) se asoció con la mayor oferta y consumo de alimento suplementario (Cuadro 3.8); al respecto Patiño-Pardo *et al.* (2003) encontraron que al aumentar el nivel de alimento suplementario se redujo TP. Esta consecuencia del alimento suplementario directamente involucrada con el efecto sustitutivo fue establecida por Krysl y Hess (1993) como resultado de su investigación bibliográfica. Con base en este efecto, se considera que al comparar la época seca y la lluviosa en la UP F, la disminución en el consumo de alimento suplementario en la época lluviosa (Cuadro 3.8) provocó aumentos en TP y DR, y por ende en los requerimientos energéticos para la actividad de pastoreo (Cuadro 3.7). Este resultado coincide con el reportado por Schauer *et al.* (2005) quienes encontraron que para animales que no recibían alimento suplementario aumentaba el TP en 2.1 h d⁻¹,

mientras que en la UP F durante la época lluviosa el aumento en TP fue de 2.2 h d⁻¹.

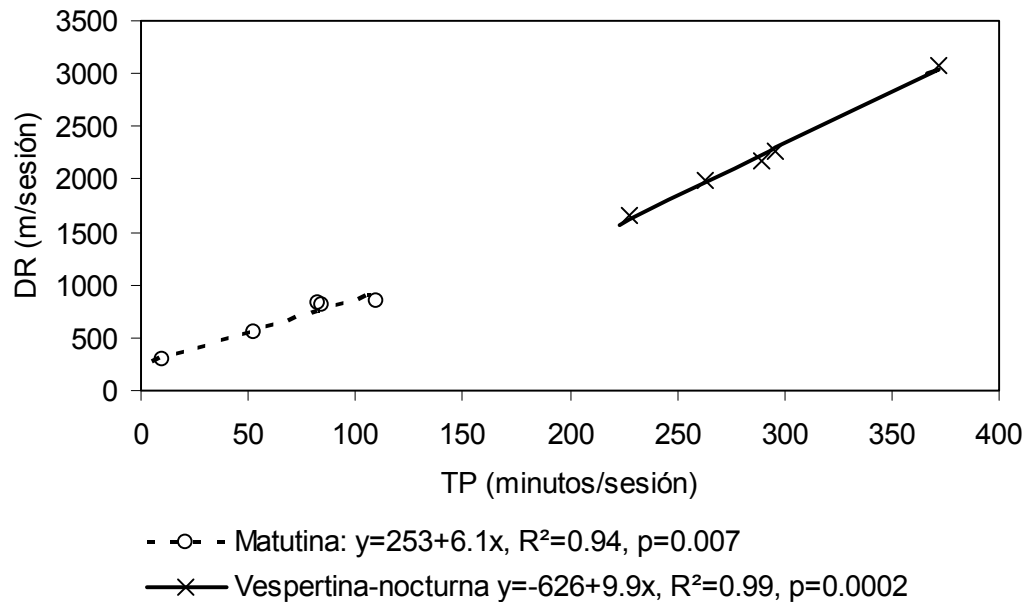


Figura 3.1. Relación entre las medias de mínimos cuadrados de tiempo de pastoreo (TP) y distancia recorrida (DR) en las sesiones matutina y vespertina-nocturna en dos unidades de producción durante la época seca y tres unidades de producción durante la época lluviosa.

Di Marco y Aello (2001) y Brosh *et al.* (2006) reportan que disminuciones en la calidad del forraje tuvieron como consecuencia aumentos en TP. Con base en lo anterior, debido a la menor calidad de forraje en la época seca que en la de lluvia, debió esperarse un mayor TP en esa primera época. Sin embargo, TP resultó menor en época seca (Cuadro 3.5), ello implica que es inadecuado extrapolar los resultados de esos autores a condiciones de extremadamente baja calidad como las que se presentaron en esa época en este experimento.

Varios autores coinciden en señalar que la disponibilidad de forraje afecta el comportamiento ingestivo. Chilbroste (1999), Gekara *et al.* (2001) y Ungar *et al.* (2005) indican que a medida que la disponibilidad de forraje es menor, los animales obtienen bocados de bajo peso, lo que implica la posibilidad de aumento de tasa de bocado debido a la reducción de movimientos

mandibulares requeridos para masticar y tragar el bocado. A pesar del aumento en la tasa de bocado, en la mayor parte de las situaciones, la disminución en peso del bocado implica reducción en la tasa de ingestión, por lo que regularmente se presenta un intento de compensación con aumento en TP.

La mayor parte de estos autores basan la descripción de los efectos de disponibilidad, en resultados obtenidos en praderas templadas en estado vegetativo con alta densidad de hojas verdes. De acuerdo con la descripción de Laca (2000) de los mecanismos de toma de decisiones de los herbívoros en pastoreo en las escalas de tiempo y espacio, en situaciones de baja densidad en la oferta de alimento, el tiempo destinado a la selección de bocados en una estación de alimentación, y el tiempo empleado para desplazarse entre estaciones de alimentación reducirían la tasa de bocado. El análisis de los resultados del trabajo clásico de Chacón y Stobbs (1976) de la evolución de la oferta y composición del forraje en oferta, del peso y la tasa de bocado a medida que avanzó el período de ocupación respaldan la descripción de Laca (2000). A su vez, un análisis de estos resultados en el marco de la teoría de forrajeo óptimo (Demment y Greenwood, 1988) implica que ante un balance energético negativo de la actividad, ante reducciones fuertes en la tasa de ingestión, los animales reaccionan reduciendo en lugar de aumentar TP, lo cual también se presentó en los resultados de Chacón y Stobbs (1976). Ello permitiría explicar por qué en este experimento durante la época seca con menor oferta en cantidad y calidad de forraje, se encontraron menores tasas de bocado y TP que en la época lluviosa.

La disponibilidad de forraje no se midió en el presente experimento, sin embargo se registraron el tiempo de permanencia en las estaciones de alimentación, la distancia entre estaciones de alimentación y el tiempo empleado en desplazarse de una estación de alimentación a la siguiente. Los resultados de estas mediciones son un apoyo para interpretar resultados de comportamiento ingestivo y consumo, ya que de acuerdo con Gregorini *et al.* (2008), el potencial de pastoreo en las áreas de pastizal puede evaluarse a

través del tiempo de permanencia en las estaciones de alimentación. En el presente experimento el tiempo de permanencia en cada estación de pastoreo fue mayor en época seca, en tanto que también fueron mayores las distancias recorridas y el tiempo empleado en desplazarse entre estaciones de alimentación. Estos resultados son contrarios a lo reportado por Patiño-Pardo *et al.* (2003) y Wade *et al.* (2006), quienes indican que en praderas sembradas, cuando el forraje disponible es bajo, se reduce el tiempo de permanencia en las estaciones de alimentación. De acuerdo con los resultados del presente experimento, en época seca el poco forraje disponible se encontró más disperso, en estaciones de alimentación más distantes entre sí. En el análisis de las características de la vegetación de pastizales nativos que afectan el comportamiento ingestivo y por ende el consumo de forraje de pastoreo, Demment y Greenwood (1988) consideran que la distancia entre estaciones de alimentación es un factor de importancia fundamental y que el consumo se reduce en la medida que aumenta esa distancia.

De acuerdo con lo anterior, la menor tasa de bocado encontrada en la época seca (Cuadro 3.4), se debió al mayor tiempo dedicado en desplazarse entre estaciones de alimentación, y ello aunado al menor TP (Cuadro 3.5), explicaría el menor consumo de forraje de pastoreo encontrado durante la época seca (Cuadro 3.7). La discusión de estos resultados implica que no es posible extrapolar resultados obtenidos en praderas sembradas con alta densidad de hoja verde a situaciones de pastizal nativo con vegetación relativamente dispersa.

En su revisión, Krysl y Hess (1993) concluyen que uno de los efectos del alimento suplementario es la reducción del TP, lo que a su vez se confirma con los resultados obtenidos por Gekara *et al.* (2001), en el caso de estos últimos autores el aumento en TP se asoció con aumentos en DR. Coincidiendo con estos resultados, en el caso de la UP F, la reducción del alimento suplementario durante la época lluviosa (Cuadro 3.8) se asoció con aumentos en TP y DR (Cuadro 3.5).

En el presente experimento se encontró que el pastoreo durante la sesión matutina fue menos intenso que en la sesión vespertina-nocturna. Después de la ordeña de la tarde, las vacas dedicaban un lapso largo a descansar y después un período intenso al pastoreo hasta la puesta de sol, mientras que por la noche el período de pastoreo era relativamente largo. Los resultados anteriores coinciden con lo que reportan Pulido *et al.* (2001) y Balocchi *et al.* (2002), quienes encontraron, en experimentos en los que definen las sesiones de pastoreo como diurnas y nocturna (12 h cada una), que la actividad de pastoreo se concentraba en la sesión diurna, el tiempo que los animales dedican a pastorear durante la noche fue aproximadamente 15% del total de la actividad de pastoreo, es decir la intensidad de pastoreo es mayor durante la sesión vespertina-nocturna, ya que en algunos casos el TP fue cero en la sesión matutina. Por su parte, Strauch *et al.* (1999) bajo un esquema similar, encontraron que animales que no recibieron alimento suplementario después de la ordeña matinal, tuvieron un período de pastoreo más intenso que animales que recibían alimento suplementario y que estos últimos tenían una especie de compensación durante la tarde. En el caso de la UP F durante la época lluviosa mostró un comportamiento concordante con el que menciona Strauch *et al.* (1999), es decir menores niveles de alimento suplementario provoca períodos de pastoreo post ordeña más prolongados.

La pendiente del recorrido de los animales fue 53% menor que la pendiente de las áreas de pastoreo, lo cuál de acuerdo a Di Marco y Aello (1998) y Brosh *et al.* (2006), se debe a que los animales tienen recorridos con menor pendiente, lo que les permite menor inversión energética en el proceso de pastoreo.

3.4.2 Requerimientos de vacas lecheras en pastoreo

Los requerimientos energéticos para realizar la actividad de pastoreo representaron 23% de los requerimientos de mantenimiento en la época seca y 27% en la época lluviosa, en respuesta a la reducción en TP y DR. En término de diferencias de disponibilidad de forraje, este resultado se contrapone al reportado por Di Marco y Aello (2001) quienes encontraron que en la medida en

que la disponibilidad de forraje era menor, ocurrían aumentos en los requerimientos de energía para realizar la actividad de pastoreo. En términos de calidad del forraje, los resultados son opuestos a los reportados por Di Marco y Aello (2001) y Brosh *et al.* (2006) quienes mencionan que el TP aumentó a medida que la calidad de forraje disminuyó. Estas discrepancias probablemente se deban a diferencias en el tipo de vegetación, ya que estos autores obtuvieron sus resultados en praderas sembradas cuya calidad y disponibilidad eran mayores que las del pastizal nativo empleado en este experimento.

Los requerimientos para TP y DR fueron 13% y 23% mayores en la época lluviosa que en la época seca, sin diferencias para desplazamiento vertical. Al respecto, Ungar *et al.* (2005) y Brosh *et al.* (2006) coinciden en que un aumento en los requerimientos de pastoreo necesariamente obedece a aumentos en TP y DR. Los mayores requerimientos para TP y DR probablemente se debieron la disminución en el aporte de alimento suplementario, por lo que los animales aumentaron su actividad de pastoreo ya que, como indican Krysl y Hess (1993), una de las causas del efecto sustitutivo es la reducción del tiempo de pastoreo. En consecuencia, este efecto fue mayor en el caso de la UP F, ya que en esta UP la disminución en el aporte de alimento suplementario fue más marcada.

La información reportada en el Cuadro 3.6 permite apreciar que la distribución proporcional de los requerimientos para actividad de pastoreo fue uniforme entre UP y estaciones. Los requerimientos para TP, DR y desplazamiento vertical representaron 48%, 26% y 26% de los requerimientos de pastoreo. Di Marco y Aello (2001) encontraron que en condiciones de baja disponibilidad de forraje, aumentaron TP y la tasa de bocado por ende se incrementaron los requerimientos para la actividad de pastoreo.

Los requerimientos energéticos para rumia en la época seca representaron 35% de los requerimientos de mantenimiento. Este resultado fue similar al 30% reportado por Susenbeth *et al.* (1998) con animales que les proporcionó forrajes toscos con altos contenidos de fibra. Este comportamiento se asocia a una alimentación alta en fibra (Patiño-Pardo *et al.*, 2003); en este experimento los

mayores requerimientos en la época seca se asociaron con mayores contenidos de fibra en el alimento suplementario (Cuadro 3.9) y el forraje de pastoreo (Cuadro 3.10).

Los requerimientos para consumo de alimento suplementario fueron mayores en época seca, lo cual se debió al aumento de la oferta y consumo de este alimento (Cuadro 3.8). Los requerimientos para cambio de posición fueron mayores en época seca, en tanto que los necesarios para permanecer de pie fueron menores. Ambos resultados están probablemente asociados entre sí y con TP; el mayor TP en la época lluviosa pudo haber reducido otras actividades como echarse y estar parada; adicionalmente las condiciones de terreno húmedo de esa época son también causa probable de que los animales hayan permanecido más tiempo de pie y por tanto hayan cambiado menos veces de posición. La explicación anterior responde a lo reportado por Endres y Barberg (2007) quienes sugieren que los animales permanecen más tiempo de pie, sin echarse, cuando se encuentran en condiciones de estrés.

3.4.3 Consumo de vacas lecheras en pastoreo

En las situaciones en que se suministra alimento suplementario, por el efecto sustitutivo se reduce el consumo de forraje (Stockdale, 2000). Gekara *et al.* (2001) y Patiño-Pardo *et al.* (2003) argumentan que aún cuando la disponibilidad y calidad de forrajes no sea limitante, con altos niveles de consumo de energía de alimento suplementario los animales reducen TP y buscan sitios donde la calidad del forraje sea mejor. De acuerdo con lo anterior, la reducción del consumo de forraje en la época seca pudo deberse al elevado aporte del alimento suplementario, lo que trajo como consecuencia reducción en TP.

Las reducciones de TP y consumo de forraje se presentaron en este experimento con baja calidad y disponibilidad de forraje, lo que se asoció con mayores distancias y tiempos de desplazamiento entre estaciones de alimentación. De esta forma, tal como concluyen Krysl y Hess (1993) y Pulido y

Leaver (1997), mayores niveles de alimento suplementario limitaron el tiempo e intensidad de la actividad de pastoreo.

El contenido de EN_L del total de alimento consumido fue mayor en la época lluviosa, debido a mejora en la calidad del forraje y el alimento suplementario. Al respecto, Moore *et al.* (1999) indican que el alimento suplementario tiene efecto favorable en la composición de la dieta total consumida por los animales. Sin embargo, en el caso de los forrajes el balance de nutrientes varía, ya que la madurez ocasiona disminuciones en el contenido de energía y aumentos en el contenido de fibra (Buxton y Redfearn, 1997). De acuerdo con lo anterior, durante la época lluviosa, el menor contenido de fibra provocó un aumento en el contenido de energía en la dieta, y aumentó el consumo total de energía y de MS. En la UP F el consumo de MS y energía fue similar en ambas épocas; aún cuando el nivel de alimento suplementario fue menor en la época lluviosa, la mejor calidad del forraje consumido compensó esa reducción.

Los forrajes de la época seca presentaron características nutricionales muy limitantes, lo cual probablemente deprimió su consumo, al contrario de lo que se presentó en la época lluviosa. Lo anterior se sustenta en Forbes *et al.* (1998), Johnson *et al.* (1998) y Gekara *et al.* (2001), quienes mencionan que el contenido energético de los forrajes en un estado avanzado de madurez es bajo, lo cual podría provocar la disminución en el consumo de los forrajes a causa de bajos contenidos de PC, Div y altos contenidos de fibra, y menor aceptación por los animales.

3.4.4 Balance energético de vacas lecheras en pastoreo

El balance de energía negativo es el resultado de bajos niveles de energía que ingresan al organismo a partir de los alimentos, mismo que no cubre los requerimientos energéticos de los animales según sus actividades (Banos *et al.*, 2005). Partiendo de lo anterior, los requerimientos de los animales para la actividad de pastoreo fueron cubiertos por la energía contenida en el forraje consumido en ambas épocas, con mayor margen positivo en la época lluviosa.

El margen positivo de la actividad en la época seca fue reducido (Cuadro 3.7), por lo que al considerar esta actividad en términos de eficiencia en el ciclaje de nutrientes a través de las excretas y efecto ambiental negativo por sobrepastoreo, es probable que se deba recomendar evitar el pastoreo durante esta época, ya que implementar el pastoreo más aún con elevado número de animales provoca daños directos a las praderas, como disminución en la acumulación de forraje y efecto negativo por pisoteo (Huber *et al.*, 1995).

El consumo de energía total (Cuadro 3.7) de los animales de la UP D en la época seca y de la UP F en ambas épocas no fue suficiente para cubrir los requerimientos de los animales y se obtuvo un balance energético total negativo, lo que implica la necesidad de aumentar los niveles de alimento suplementario para evitar deterioro en el peso vivo de los animales. En los casos en que el balance de energía es negativo National Research Council (2001), Coffey *et al.* (2002) y Banos *et al.* (2005), indican que los animales entran en un catabolismo de reservas corporales (pérdida de peso), lo cuál a largo plazo si se mantiene el déficit de energía, podría afectar la condición corporal y la producción.

3.5 Conclusiones

Los requerimientos totales fueron iguales en las dos épocas. Los requerimientos para la actividad de pastoreo fueron superiores en la época lluviosa, debido a mayores requerimientos para tiempo de pastoreo y distancia recorrida.

Los consumos totales de alimento y de forraje en pastoreo fueron mayores en la época lluviosa, por lo que en esa época el aporte de energía por parte del forraje de pastoreo fue mayor.

El balance energético de la actividad de pastoreo resultó positivo en todas las unidades de producción para ambas épocas; el margen positivo en la época seca fue estrecho.

El balance energético total en las UP D y F en la época seca y de la UP F en la época lluviosa fue negativo.

3.6 Literatura citada

- Agricultural Research Council. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. 351 p.
- Agricultural and Food Research Council. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. CAB International. Wallingford, UK. 159 p.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA. pp: 152-159.
- Balocchi O., R. Pulido F, y J. Hernández V. 2002. Comportamiento de vacas lecheras en pastoreo con y sin suplementación con concentrado. Agricultura Técnica (Chile): 62(1): 87-98.
- Banos, G., M. P. Coffey, and S. Brotherstone. 2005. Modeling daily energy balance of dairy cows in the first three lactations. Journal of Dairy Science 88: 2226–2237.
- Bell, A. W., R. Slepetis, and R. A. Ehrhardt. 1995. Growth and accretion of energy and protein in gravid uterus during late pregnancy in Holstein cows. Journal of Dairy Science 78: 1954-1961.
- Brosh, A., Z. Henkin, E. D. Ungar, A. Dolev, A. Orlov, Y. Yehuda, and Y. Aharoni. 2006. Energy cost of cows grazing activity: use of the heart rate method and the global positioning system for direct field estimation. Journal of Animal Science 84: 1951-1967.
- Buxton, D. R., and D. D. Redfearn. 1997. Plant limitations to fiber digestion and utilization. The Journal of Nutrition 127(5): 814-818.
- Coffey, M. P., G. Simm, and S. Brotherstone. 2002. Energy balance profiles for the first three lactations of dairy cows estimated using random regression. Journal of Dairy Science 85: 2669–2678.
- Chacón, E. A., and T. H. Stobbs 1976. Influence of progressive defoliation of grass sward on the eating behavior of cattle. Australian Journal of Agricultural Research 27: 709-727.
- Chilibroste, P. 1999. Grazing time the missing link: a study of the plant-animal interface by integration of experimental and modelling approaches. Ph D Thesis, Animal Nutrition Group, Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands. 190 pp.
- Demment, M. W., and G. B. Greenwood. 1988. Forage ingestion: effects of sward characteristics and body size. Journal Animal Science 66: 2380-2392.

- Di Marco O. N., and M. S. Aello. 1998. Energy cost of cattle walking on the level and on a gradient. *Journal of Range Management* 51: 9-13.
- Di Marco O. N., and M. S. Aello. 2001. Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 53(1): 105-110.
- Espinoza-Ortega, A., A. Álvarez-Macías, M. C. Del Valle, y M. Chauvete. 2005. La economía en los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Técnica Pecuaria México* 43(1): 39-56.
- Endres, M. I., and A. E. Barberg. 2007. Behavior of dairy cows in alternative bedded-pack housing system. *Journal of Dairy Science* 90: 4192-4200.
- Forbes, T. D. A., F. M. Rouquette, and J. W. Holloway. 1998. Comparisons among Tuli-, Brahman-, and Angus-sired heifers: intake, digesta kinetics, and grazing behavior. *Journal of Animal Science* 76: 220-227.
- Gekara, O. J., E. C. Prigge, W. B. Bryan, M. Schettini, E. L. Nestor, and E. C. Townsend. 2001. Influence of pasture sward height and concentrate supplementation on intake, digestibility, and grazing time of lactating beef cows. *Journal of Animal Science* 79: 745-752.
- Gobierno del Estado de Michoacán. 2007. Municipios. Marcos Castellanos. Medio Físico. Disponible en http://www.emexico.gob.mx/work/EMM_1/Michoacan/Mpios/16051a.htm#03. Consultado el 23/03/2009.
- Gregorini, P., S. A. Gunter, and P. A. Beck. 2008. Matching plant and animal processes to alter nutrient supply in strip-grazed cattle: timing of herbage and fasting allocation. *Journal of Animal Science* 86: 1006-1020.
- Harlan, D. W., J. B. Holter, and H. H. Hayes. 1991. Detergent fiber traits to predict productive energy of forages fed free choice to nonlactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 74: 1337-1353.
- Huber, S. A., M. B. Judkins, L. J. Krysl, T. J. Svejcar, B. W. Hess, and D. W. Holcombe. 1995. Cattle grazing a riparian mountain meadow: effects of low and moderate stocking density on nutrition, behavior, diet selection, and plant growth response. *Journal of Animal Science* 73: 3752-3765.
- Johnson, J. A., J. S. Caton, W. Poland, D. R. Kirby, and D. V. Dhuyvetter. 1998. Influence of season on dietary composition, intake and digestion by beef steers grazing mixed-grass prairie in the Northern Great Plains. *Journal of Animal Science* 76: 1682-1690.
- Johnson, D. E., C. L. Ferrel, and T. G. Jenkins. 2003. The history of energetic efficiency research: where have we been and where are we going?. *Journal of Animal Science* 81 (E. Suppl. 1): E27:E38.
- Krysl, L. J., and B. W. Hess. 1993. Influence of supplementation on behavior of grazing cattle. *Journal of Animal Science* 71: 2546-2555.

- Laca, E. A. 2000. Modelling spatial aspects of plant-animal interactions. *In*: G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, P. C. de F. Carvalho and C. Nabinger (Eds.). Grassland ecophysiology and grazing ecology. CAB International, Oxon, UK pp: 209-231.
- Moore, J. E., M. H Brant, W. E. Kunkle, and D. I. Hopkins. 1999. Effect of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. *Journal of Animal Science* Vol. 77. Suppl. 2/*Journal of Dairy Science* Vol 82. Suppl. 2: 122-135.
- National Research Council. 1981. Nutritional Energetics of Domestic Animals & Glossary of Energy Terms. Second Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C. 54 p.
- National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition. National Academy Press, Washington, D. C. 408 p.
- Patiño-Pardo, R. M., V. Fischer, M. Balbinotti, C. B. Moreno, E. X. Ferreira, R. I. Vinhas, y P. L. Monks. 2003. Comportamento ingestivo diurno de novilhos em pastejo submetidos a níveis crescentes de suplementação energética. *Revista Brasileira de Zootecnia* 32(6): 1408-1418.
- Penning, P.D. 2004. *Herbage Intake Handbook*. Second edition. Published by The British Grassland Society. 191 p.
- Pulido, R., and Leaver J. D. 1997. Effect of milk yield, sward height and concentrate supplementation level on herbage intake and grazing behaviour of set stocked dairy cattle in spring. *In*: Proceedings of the XVIII International Grassland Congress, Saskatchewan, Canada Session 2, Animal Intake and Grazing Systems, pp: 19-20.
- Pulido R. G., O. Balocchi, y J. Fernandez. 2001. Efecto del nivel de producción de leche sobre el comportamiento ingestivo en vacas lecheras en pastoreo primaveral. *Archivos de Medicina Veterinaria* 33(2): 137-144.
- SAS. 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide, Volumes 1-7. SAS Inst., Cary, NC. 5124 p.
- Schauer, C. S., D. W. Bohnert, D. C. Ganskopp, C. J. Richards, and S. J. Falck. 2005. Influence of protein supplementation frequency on cows consuming low-quality forage: performance, grazing behaviour, and variation in supplement intake. *Journal of Animal Science* 83: 1715-1725.
- Sosa O., B. Martín y G. Zerpa. 1997. Efecto del pisoteo de bovinos sobre la evolución del stand de plantas de una pastura consociada. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 5(Supl. 1): 33-35.
- Stockdale, C. R. 2000. Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40: 913-921.

- Strauch, B. O., A. Hargreaves B., F. Lanuza A., y C. Uribe. 1999. Momento de suplementación con ensilaje de praderas a vacas lecheras en pastoreo estival. *Agricultura Técnica (Chile)* 59(2): 107-121.
- Susenbeth, A., R. Mayer, B. Koehler, and O. Neumann. 1998. Energy requirement for eating in cattle. *Journal of Animal Science* 76: 2701-2705.
- Tyrrel, H. F., and J. T. Reid. 1965. Prediction of the energy value of cow's milk. *Journal of Dairy Science* 48: 1215-1223.
- Ungar, E. D., Z. Henkin, M. Gutman, A. Dolev, A. Genizi, and D. Ganskopp. 2005. Inference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. *Rangeland Ecology & Management* 58: 256–266.
- Van Keulen, J., and B. A. Young. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science* 44: 282-287.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Wade, M. H., M. Eirin, and P. Gregorini. 2006. The effect of fasting on the feeding station behavior of grazing beef heifers. *Journal of Animal Science* 84(Suppl. 2): 51. (Abstr.)
- Williams, C. H., D. J. David, and O. Lismaa. 1962. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. *Journal of Agricultural Science (Camb.)* 59: 381-385.
- Wright, T. C., Moscaridini S., Luimes P. H., Susmel P., and B. W. McBride. 1998. Effects of rumen-undegradable protein and feed intake on nitrogen balance and milk protein production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81: 784:793.