

01674 5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

EVALUACIÓN DE LA INCLUSIÓN DE ENSILADO DE MAÍZ Y ALIMENTO
CONCENTRADO EN LA ALIMENTACIÓN DE VACAS LECHERAS EN
PASTOREO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA
ESCALA EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

BENITO ALBARRÁN PORTILLO

TUTORES

CARLOS ARRIAGA JORDÁN
SILVIA ELENA BUNTINX DIOS
OCTAVIO ALONSO CASTELÁN ORTEGA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO D.F. 2002

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: Benito Albarrán Portillo

FECHA: 2 Sep 02
FIRMA: [Signature]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero al proyecto "Investigación y Desarrollo Participativo de Estrategias de Alimentación Apropriadas para Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala" (CONACYT 28888-B).

A la Universidad Autónoma del Estado de México, por el financiamiento parcial al proyecto (clave UAEM 1437/2000) y al financiamiento complementario por parte del Prof. David Leaver del Departamento de Ciencias Agropecuarias del Imperial College of Science, Technology and Medicine de la Universidad de Londres

Al Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias (CICA) de la Universidad Autónoma del Estado de México, por el apoyo institucional.

Agradecimiento especial a los miembros del Ejido San Cristóbal por su interés y participación, y su disposición por compartir e intercambiar sus conocimientos y sus experiencias, en especial al Sr. Felipe Arriaga Carmona por su participación como productor asociado en el módulo demostrativo durante el periodo mayo 1999 a mayo 2001.

A los Doctores: Carlos Arriaga Jordán, Silvia Buntinx Dios y Octavio Castelán Ortega, por haberle dado forma a este trabajo.

A todo el personal del departamento de Nutrición (FMVZ-UNAM) y en particular a: MC. Hilda Ramírez, MVZ. Janitzio, Dr. René Rosiles, Dr. Sergio Angeles, MC. Antonieta Aguirre, y T. Lab. Fer...

A todo el personal del CICA, en particular a Graciela Campuzano, Laura Carrillo, Laura Edith, y Poncho.

Se agradece también a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, en particular a la Unidad de Bovinos Productores de Leche, y al M.V.Z. Bulmaro Valdez Ramírez, Coordinador de Producción de la propia Facultad, por su apoyo a la realización de este trabajo

Agradecimiento especial al MC. Francisco Castrejón Pineda y al Dr. Ricardo Améndola Massoti por sus comentarios al presente trabajo.

A todos ellos, muchas gracias por todo su apoyo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Indice

<i>1. Introducción</i>	<i>1</i>
<i>2 Revisión de literatura</i>	<i>5</i>
2.1 Situación de la industria lechera en México	5
2.2 Problemática de la lechería	5
2.3 Sistemas de producción de leche en México	6
Sistema especializado o tecnificado	6
Sistema de doble propósito o lechería tropical	7
Sistema de pequeña escala o lechería familiar	8
2.4 Situación actual	8
2.5 Utilización de praderas en la alimentación de bovinos productores de leche	12
Producción de leche en sistemas de pastoreo	13
Comportamiento en pastoreo	14
Selección de la dieta en la pradera	17
Factores de la pradera que afectan el consumo del forraje	18
Factores de los animales que afectan el consumo de forraje	20
Efecto de las condiciones de la pradera sobre los rendimientos de vacas en lactación	25
2.6 Utilización de suplementos en animales en pastoreo	26
2.7 Ensilado de maíz como suplemento en la alimentación de bovinos productores de leche	27
2.8 Utilización de concentrados en la alimentación de bovinos productores de leche	29
2.9 Análisis económico mediante el uso de presupuestos	31
<i>3 Hipótesis</i>	<i>33</i>
<i>4 Objetivos</i>	<i>34</i>
5.1 Praderas y ensilado de maíz	35
5.2 Manejo del pastoreo	36
5.3 Manejo y mediciones en los alimentos	37
5.4 Mediciones en los animales	39
5.5 Experimento 1 Suplementación con ensilado de maíz (SEM)	40
5.6 Experimento 2 Suplementación con concentrados (SC)	42
5.7 Análisis económico	44
<i>6. Resultados y Discusión</i>	<i>47</i>
6.1 Experimento suplementación con ensilado de maíz	47

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV

6 1 1 Condiciones meteorológicas	47
Temperaturas	47
Precipitación	48
6 1 2 Acumulación neta de forraje	48
6 1 3 Altura de las praderas	51
6 1 4 Composición de los alimentos	52
Ensilado de maíz	52
Pradera	53
Alimento comercial y alimento con óxido de cromo	54
6 1 5 Consumo de alimento	55
Determinación de consumo voluntario	55
6 1 6 Rendimientos y composición de leche	64
Rendimientos de leche	64
Grasa y proteína	65
Peso y condición corporal	67
6 1 7 Análisis económico	67
<i>6.2 Experimento suplementación con concentrados</i>	<i>70</i>
6 2.1 Condiciones meteorológicas	70
Temperaturas	70
Precipitación	70
6 2.2 Acumulación neta de forraje	71
6 2.3 Altura de la pradera	73
6 2.4 Composición de los alimentos	75
Alimento comercial y alimento con óxido de cromo	75
Pradera	76
6 2.5 Consumo de alimento	77
6 2.6 Rendimientos y composición de leche	81
Rendimientos de leche	81
Grasa y proteína	82
Peso y condición corporal	82
6 2.7 Análisis económico	82
<i>7. Discusión general</i>	<i>85</i>
<i>Referencias</i>	<i>95</i>
<i>Anexos</i>	<i>107</i>

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

✓

Índice de Cuadros

Cuadro 1	Regiones de ubicación de la ganadería en pequeña escala y doble propósito	9
Cuadro 2	Tendencias sobre la investigación en sistemas de lechería en pequeña escala y doble propósito	11
Cuadro 3	Fórmulas para calcular el contenido energético de los alimentos	39
Cuadro 4	Asignación de tratamientos y vacas dentro de cuadro del experimento suplementación con ensilado de maíz	41
Cuadro 5	Asignación de tratamientos y vacas dentro de cuadro del experimento suplementación con concentrados	43
Cuadro 6	Costos de establecimiento de praderas perennes asociadas de ballicos (<i>Lolium perenne</i> y <i>L. multiflorum</i>) con trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>)	44
Cuadro 7	Costos de mantenimiento de praderas perennes asociadas de ballicos (<i>Lolium perenne</i> y <i>L. multiflorum</i>) con trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>)	45
Cuadro 8	Costos de establecimiento de cultivo de maíz para ensilar	45
Cuadro 9	Costo de proceso de ensilaje de maíz	46
Cuadro 10	Acumulación neta de forraje (ANF, kg MO ha ⁻¹) por periodo experimental (PE)	49
Cuadro 11	Eficiencia de utilización de pradera para el experimentos suplementación con ensilado de maíz (SEM)	50
Cuadro 12	Composición química del ensilado de maíz	53
Cuadro 13	Composición química de la pradera	54
Cuadro 14	Composición química del alimento comercial y alimento con Cr ₂ O ₃	55
Cuadro 15	Consumo promedio por vaca d ⁻¹ de alimentos ofrecidos en los diferentes tratamientos experimentos del experimento SEM	56
Cuadro 16	Consumo promedio por vaca d ⁻¹ de alimentos ofrecidos por PE del experimento SEM	57
Cuadro 17	Contribución de los ingredientes de la dieta a las necesidades de consumo de MO y EM	62
Cuadro 18	Rendimientos, composición de leche, peso vivo y condición corporal por tratamiento	64
Cuadro 19	Rendimientos y composición de leche, peso vivo, condición corporal y consumo de MO por PE	65
Cuadro 20	Costos por concepto de alimentación para los tratamientos de ensilado de maíz	68

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuadro 21. Acumulación neta de forraje (kg MO ha ⁻¹) por periodo experimental (PE), experimento suplementación con concentrados	72
Cuadro 22. Eficiencia de utilización del forraje de la pradera para el experimento SC	73
Cuadro 23. Composición química del alimento comercial y alimento con Cr ₂ O ₃	75
Cuadro 24. Análisis químico de la pradera para el experimento suplementación con concentrados (SC)	76
Cuadro 25. Consumo promedio por vaca d ⁻¹ de alimentos ofrecidos en los diferentes tratamientos del experimento suplementación con concentrados (SC)	77
Cuadro 26. Consumos de alimentos (kg MO d ⁻¹) por PE del experimento suplementación con concentrados (SC)	78
Cuadro 27. Contribución de los alimentos a las necesidades de consumo de MO y energía metabolizable, para los tratamientos y los periodos experimentales	79
Cuadro 28. Contribución de energía metabolizable a partir de proteína metabolizable	80
Cuadro 29. Rendimientos y composición de leche por tratamiento, experimento SC	81
Cuadro 30. Rendimientos, composición de leche y consumo de alimento por PE, experimento SC	81
Cuadro 31. Costos por concepto de alimentación por tratamiento	82
Cuadro 32. Acumulación neta de forraje por periodo experimental y altura de pradera, experimento suplementación con ensilado de maíz	87
Cuadro 33. Efecto de la suplementación con ensilado de maíz sobre la productividad por hectárea	89
Cuadro 34. Efecto de la suplementación con concentrados sobre la productividad por hectárea	90
Cuadro 35. Respuesta a la suplementación con concentrados por vacas lecheras en pastoreo en el Valle de Toluca	91

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Indice de figuras

Figura 1. Temperaturas máximas, mínimas y promedio diarias durante el experimento SEM	47
Figura 2. Precipitación pluvial (mm lluvia d ⁻¹) durante el experimento SEM	48
Figura 3. Altura de las praderas durante el experimento SEM	50
Figura 4. Temperaturas máximas, mínimas y promedio diarias durante el experimento suplementación con concentrados (SC)	70
Figura 5. Precipitación pluvial (mm d ⁻¹) durante el experimento suplementación con concentrados (SC)	71
Figura 6. Altura de pradera (cm) para cada periodo experimental experimento SC	74

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Resumen

La pérdida de rentabilidad del cultivo de maíz en los sistemas agropecuarios del Valle de Toluca ha obligado a la reorientación de actividades productivas. La producción de leche, como alternativa a la problemática del maíz es fundamental en la obtención de ingresos a partir de la actividad agropecuaria. Sin embargo, los costos de producción son altos, por lo que reducen los márgenes de ganancia. Por lo tanto, se propuso evaluar diferentes niveles de suplementación en vacas en pastoreo, como una alternativa para reducir costos de producción. El objetivo fue evaluar la respuesta productiva y económica a la suplementación con ensilado de maíz (SEM) y concentrados (SC) en vacas lecheras en pastoreo. El trabajo se realizó bajo el enfoque de "experimentación en finca" en el Ejido San Cristóbal, Almoloya de Juárez, México. Se utilizaron dos praderas de 0.75 ha c/u de ballico perenne (*Lolium perenne* cv Nui; *Lolium multiflorum* cv beefbuilder) y trébol blanco (*Trifolium repens* cv Pitaw). Se utilizó un diseño de cuadro latino 3 x 3, repetido dos veces, con seis vacas Holstein agrupadas en trios por cuadro, de acuerdo a número y fecha de parto. Las vacas se asignaron al azar a secuencias aleatorias a los tratamientos SEM-3, SEM-6 y SEM-9 kg MS de ensilado de maíz (experimento 1) y SC-1, SC-3 y SC-6 kg de concentrado comercial (16% PC) (experimento 2), con periodos experimentales de tres semanas. Los animales pastorearon 9 y 11 horas d⁻¹, experimentos SEM y SC respectivamente, con una carga animal de 4 vacas ha⁻¹. Los resultados mostraron que no hubo diferencia estadística entre los tratamientos del experimento SEM para producción de leche, (P > 0.05) (promedio 19.0 kg leche/vaca/d⁻¹). En el experimento SC existió una diferencia estadísticamente significativa (P < 0.05) en favor del tratamiento SC-6 (15.8 kg leche vaca⁻¹ d⁻¹), mientras que los tratamientos SC-1 y SC-3 no fueron diferentes entre sí (P > 0.05) (11.3, 12.6 kg leche/d⁻¹). Los costos de alimentación por kg de leche (experimento SEM) fueron: SEM-3 = \$ 0.59, SEM-6 = \$ 0.69 y SEM-9 = \$ 0.78. Experimento SC: SC-1 = \$ 0.47, SC-3 = \$ 0.73 y SC-6 = \$ 1.02. Los márgenes brutos (ingresos menos egresos) fueron: SEM-3 = \$ 5,270.19, SEM-6 = \$ 5,059.74, SEM-9 = \$ 4, 939.23. Mientras que SC-1 = \$ 3,059.03, SC-3 = \$ 3,033.77 y SC-6 = \$ 3,016.38. Se concluye que los tratamientos SEM-3 y SC-1 permitieron obtener mayores márgenes de ganancia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Summary

The loss of profitability of the maize crop in agricultural and animal systems of the Toluca Valley has obligated to the productive activities reorientation. The milk production, as alternative to the problems of the maize is fundamental in the incomes from agricultural activities. However, the costs of production are high, therefore reduced profit margins. Therefore, it was proposed to evaluate different levels of supplementation to dairy cows as an alternative to reduce production costs. The objective was evaluated productive and economic response to the supplementation with maize silage (MS) and concentrated (C) in grazing dairy cows. The experiment was conducted under the approach of "on-farm evaluation" at the Ejido San Cristobal, Almoloya of Juarez, Mexico. There were used two pastures of 0.75 hectares of rye grass (*Lolium perenne* cv. Nui; *Lolium multiflorum* cv. beefbuilder) and white clover (*Trifolium repens* cv. Pitaw). Were used a latino square design 3 x 3, repeated two times, with six cows Holstein grouped in trios for square, according to number and calving date. The cows were allocated at random to the sequences to the treatments SEM-3, SEM-6 and SEM-9 kg MS of maize silage (experiment 1) and SC-1, SC-3 and SC-6 kg of concentrate (16% PC) (experiment 2), with three weeks of experimental periods. The grazing time were 9 and 11 hours d^{-1} , experiments SEM and SC respectively, with stoking rate of 4 cows per hectare. The results showed no significant effect ($P > 0.05$) on milk production to the treatments of the experiment SEM, (average 19.0 kg milk/cow/ d^{-1}). On the experiment SC existed a difference ($P < 0.05$) between treatment SC-6 (15.8 kg cow milk d^{-1}), and the treatments SC-1 and SC-3 there were not different between ($P > 0.05$) (11.3, 12.6 kg milk/ d^{-1}). The feeding costs per kg of milk (experiment SEM) were: SEM-3 = \$ 0.59, SEM-6 = \$ 0.69 and SEM-9 = \$ 0.78. Experiment SC: SC-1 = \$ 0.47, SC-3 = \$ 0.73 and SC-6 = \$ 1.02. The gross margins (income less outcomes) were: SEM-3 = \$ 5,270.19, SEM-6 = \$ 5,059.74, SEM-9 = \$ 4,939.23. Meanwhile SC-1 = \$ 3,059.03, SC-3 = \$ 3,033.77 and SC-6 = \$ 3,016.38. It is concluded that the treatments SEM-3 and SC-1 permitted to obtain greater profit margins.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1. Introducción

En el Estado de México, así como en el Altiplano Central Mexicano, el cultivo del maíz es la actividad base de los productores agropecuarios, de tal forma que es el eje de los sistemas agropecuarios (INEGI, 1994).

Los productores campesinos de maíz han visto cómo se reduce la viabilidad económica de este cultivo con el transcurso de los años, agravándose aún más por los compromisos adquiridos por México en el Tratado de Libre Comercio (TLC) de ajustar los precios internos con los precios internacionales, lo que reduce aún más los escasos márgenes de ganancia obtenidos por el cultivo de maíz (Arriaga *et al.*, 1997b).

Aunado a esta problemática, el sector agropecuario debe enfrentar el reto de aumentar la producción de alimentos y otros productos agropecuarios, a fin de lograr la seguridad alimentaria de las familias rurales y contribuir a satisfacer las demandas de la población en general y del sector industrial (Arriaga *et al.*, 1997b).

Ante esta situación, surge la necesidad de que los campesinos productores de maíz reorienten su actividad productiva, incorporando cultivos y actividades competitivas que permitan aprovechar las oportunidades que brindan los mercados, a fin de permanecer en sus comunidades desarrollando actividades que contribuyan al mejoramiento de sus condiciones de vida, aprovechando, a su vez, las bases que el gobierno ha establecido para la modificación del patrón de cultivos ante posibles ventajas comparativas de los mercados nacionales e internacionales (Ramírez, 1997).

Entre las alternativas se encuentra la producción de leche en pequeña escala, actividad tradicional del Altiplano Central Mexicano, que ha sobrevivido a condiciones adversas dada su flexibilidad de ajustarse a escenarios económicos difíciles y cambiantes (Muñoz *et al.*, 1997). Además, puede ser una alternativa

viable en virtud del gran déficit de leche que enfrenta México, lo que obliga a importar entre el 30 % y el 35% de leche para cubrir la demanda interna de este producto. Sin embargo, y no obstante la gran demanda que existe de leche, el TLC representa un futuro altamente competitivo, pues la producción de leche y los productos lácteos enfrentan los mismos escenarios que el maíz ante la apertura comercial de México (Muñoz *et al.*, 1997). Por éstas razones, para que la producción de leche represente una opción de desarrollo rural, debe ser eficiente y con bajos costos, de forma que brinde un ingreso adecuado para los productores y sea competitiva con los precios internacionales, ya que se considera que la lechería en pequeña escala es capaz de enfrentar exitosamente escenarios competitivos y contribuir significativamente a la producción nacional de leche (Muñoz *et al.*, 1997)

El Valle de Toluca produce una gran variedad de productos agrícolas, que contempla cultivos tales como maíz, hortalizas y forrajes. Esta variedad permite a los productores agropecuarios una mayor integración del sistema agrícola y pecuario, en donde el segundo se basa grandemente en los esquilmos que genera el cultivo de maíz y hortalizas, fortaleciendo la actividad de la lechería en pequeña escala, haciéndola menos dependiente de insumos externos a la unidad de producción (Villa *et al.*, 1998).

En la lechería en pequeña escala, el rubro que representa el mayor gasto en los costos de producción y particularmente en las erogaciones en efectivo, es la alimentación, por lo que el desarrollo de estrategias de alimentación apropiadas para estos sistemas es una prioridad (Arriaga *et al.*, 1997b).

En este sentido, una alternativa es la utilización de praderas cultivadas en la alimentación del ganado lechero, lo que permite la producción eficiente de leche con menores costos de producción por concepto de alimentación, y con la cual existen varias experiencias favorables en condiciones experimentales en el Valle

de Toluca (Espinoza y Martínez, 1989; Jaime y Castelán, 1990; Uriarte, 1989; Orozco, 1990; Torres y Torres, 1992).

Ante la globalización del mercado de leche, las tendencias obligan a los productores de leche, y en especial a los productores nacionales, a la disminución de los costos de producción; es decir, aumentar la eficiencia en la producción y no el volumen producido (García, 1996) Los sistemas basados en pastoreo se recomiendan por ser los forrajes el alimento más barato para la producción de leche. El principal problema para los sistemas basados en pastoreo en esta región es que el forraje no está disponible en la misma cantidad a lo largo del año por las inadecuadas condiciones climáticas para el crecimiento del pasto. La conservación de forrajes, por lo tanto, es una alternativa para hacer frente a la falta de forraje en las épocas críticas (Mosquera y González, 1998).

La presente propuesta surge de los resultados del proyecto "Investigación/Extensión Rural Participativa en Sistemas de Producción de Leche en el Ejido San Cristóbal. Municipio de Almoloya de Juárez, Estado de México ", llevado a cabo dentro del Programa de Investigación en Producción Animal Campesina del Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias (CICA) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT (P468100-S-0407PS) El objetivo principal del proyecto fue contribuir con los miembros del Ejido San Cristóbal a desarrollar estrategias productivas en sus sistemas de producción de leche, que condujeran al mejoramiento de sus condiciones de vida, a través de tecnologías mejoradas, adaptadas a las condiciones locales.

Como resultado de las investigaciones de dicho proyecto, se identificaron estrategias de alimentación exitosas, que consistieron en cantidades limitadas de concentrados (3 kg), pastoreo como base de la alimentación y suplementación del pastoreo en la época de invierno con ensilado de maíz. Dicha estrategia permite estabilizar los rendimientos de leche durante la sequía y obtener una mayor

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

producción de leche cuando el crecimiento de las praderas se restablece en primavera y verano. Mediante esta estrategia fue posible reducir la suplementación con concentrados a menos del 50% de lo suministrado por otros productores y producir rendimientos 22.5% mayores de leche al día (Albarrán *et al.*, 1998; Albarrán, 1999).

Para continuar con las investigaciones que el CICA realiza, se desarrolla actualmente el proyecto " Investigación y Desarrollo Participativo de Estrategias de Alimentación Apropriadas para Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala" CONACYT 28888-B, dentro del cual se desarrollará la presente propuesta, en la que se evaluará la suplementación del pastoreo con diferentes niveles de ensilado de maíz y concentrado.

2. Revisión de literatura

2.1 Situación de la industria lechera en México

El sector primario en México contribuye con el 7.9% del PIB total (aproximadamente 20 mill. de Dlls), del cual la segunda actividad en importancia dentro del subsector ganadero es la lechera, con el 23% del valor de la producción (Alvarez, 1998).

La producción de leche en México es una actividad de gran importancia al proveer de proteína animal; representa el 30% del total de proteína de origen animal ingerida per capita por los mexicanos. Sin embargo, el país debe importar grandes cantidades de leche en polvo para satisfacer la demanda interna (hasta un 30%), lo cual implica una pérdida de divisas y coloca a México ante una situación difícil, en la que se pone en riesgo la seguridad alimentaria de las generaciones futuras (González, 1997).

2.2 Problemática de la lechería

En la historia reciente, la producción de leche en México ha sido insuficiente debido a factores como el crecimiento desigual entre la población humana y la producción de leche, las crisis económicas (en las décadas de 1980 y 1990) y la reducción a los apoyos para el desarrollo agropecuario, entre otros. Son dos los factores que más influyeron en la crisis del sector lechero mexicano: por una parte, la importación masiva de grandes volúmenes de leche descremada en polvo (LDP) y, por otra parte, el control de los precios, que marcaron un retroceso y estancamiento en el sistema lechero mexicano (Muñoz *et al.*, 1995).

Pese al aumento del precio internacional de la tonelada de LDP en un 158% a finales de la década de 1980 (Muñoz *et al.*, 1995), México continuó su tendencia ascendente de importación de LDP, registrando en 1994 un coeficiente de dependencia alimentaria (la proporción de la oferta nacional de un producto que es

importado) para el sector lechero del 35%, resultando altamente riesgoso para el país el depender de las importaciones para cubrir las necesidades de la población y de la industria (Ceballos, 1995; Muñoz *et al.*, 1995).

A partir de diciembre de 1994 la problemática se agudizó. El precio de los insumos agropecuarios aumentó considerablemente debido a la tasa de cambio del peso frente al dólar, incrementando de manera exorbitante los costos de producción de leche, ya que se tenía que pagar un mayor precio por insumos que en su mayoría son de importación (embriones, maquinaria, semen, granos, reemplazos etc). Lo anterior contribuyó a la desaparición de gran número de establos lecheros y a la descapitalización de las restantes (López, 1996).

Otro punto a considerar es que se insiste en copiar los sistemas de producción de países desarrollados, sobre todo el de Estados Unidos, que se basa en su mayor parte en la utilización de grandes cantidades de granos subsidiados para la alimentación de los hatos (Muñoz *et al.*, 1997).

Todo lo anterior ha provocado que las condiciones de producción de leche entre México y los países exportadores sean muy diferentes, poniendo a nuestro país en desventaja (García, 1996).

2.3 Sistemas de producción de leche en México

Los sistemas de producción de leche en México se agrupan en tres categorías: el especializado, el de doble propósito ó lechería tropical y el semiespecializado (lechería familiar o en pequeña escala), los cuales aportan el 25%, 30% y 45% de la producción nacional de leche, respectivamente (Muñoz *et al.*, 1995).

Sistema especializado o tecnificado

Este sistema constituye el 8% del hato productor y se localiza en la zona norte y en el altiplano mexicano. El ganado es principalmente de raza Holstein. La alimentación está basada en concentrados (9 - 10 kg/vaca/día), forrajes verdes o ensilados y se caracteriza por producciones de 4 mil a 6 mil litros por lactancia en

promedio. El sistema de ordeño es mecánico; cuenta con equipo de enfriamiento; existe un buen control sanitario y buena capacitación de los trabajadores (García, 1996).

Desde 1990, autores como Muñoz *et al.* (1995) consideraron que este sistema estaba llegando a su límite, pese a su elevado nivel tecnológico y a su importancia en el abastecimiento de leche a la industria pasteurizadora. La principal razón se debe a los elevados costos de inversión y de los insumos, siendo el rubro de costos de alimentación el más decisivo, ya que representa entre el 64 y el 72% de los costos variables de producción en estos sistemas (Améndola, 1996).

Sistema de doble propósito o lechería tropical

Según datos de los Fondos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) del Banco de México, el 67% del hato productor de leche en México corresponde a la lechería tropical, contribuyendo con el 30% de la producción nacional (García, 1996). Se localiza en las regiones tropicales y subtropicales del país. El ganado predominante es resultado de la cruza de Suizo, Cebú y criollo. La alimentación se basa en el pastoreo de gramas nativas o pastos cultivados y la eventual utilización de complementos alimenticios elaborados con subproductos agroindustriales. La producción por vaca por lactancia es de 300 a 700 litros; la ordeña es manual, no hay capacitación de los trabajadores y el control sanitario es deficiente. La característica de este sistema es su contribución a la obtención de carne como becerro destetado y vacas de desecho, así como a los ingresos por venta de leche (Muñoz *et al.*, 1995)

La problemática de este sistema radica en el bajo aprovechamiento de sus recursos, poco uso de tecnologías, gran número de intermediarios en el proceso industrial de los productos generados y, en resumen, baja eficiencia de la actividad (García, 1996).

La gran ventaja base de este sistema es que sus costos de producción son bajos, siendo superado sólo por el sistema desarrollado en Nueva Zelanda (García,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1996). La producción tropical se perfila como el principal abastecedor de leche en el país en un futuro a corto plazo, transformando el objetivo principal en la obtención de leche y de manera secundaria estaría la producción de carne (Loera, 1996).

Sistema de pequeña escala o lechería familiar

Este sistema se localiza en el altiplano. El ganado es producto de cruces de Holstein, Suizo y criollo, predominando el Holstein. La alimentación se basa en alimentos balanceados comerciales con un consumo de 5-6 kg /vaca/día, rastrojo de maíz, maíz molido, deshierbes de los campos de maíz y del pastoreo. El sistema de ordeño es manual en su mayoría y se ocupa casi totalmente mano de obra familiar. Los rendimientos de leche por lactancia son de 1600 a 2 mil litros; este sistema aporta entre 50 y 60 % de la leche cruda o "bronca" que se consume en México (Muñoz *et al.*, 1995).

A pesar de la crisis que sufre desde hace ya muchos años el sector lechero y que en especial afecta al sector especializado, la lechería familiar en pequeña escala, que representa el 25% del hato productor, contribuye con el 45% de la leche que se produce en el país (Muñoz *et al.*, 1995), gracias a que sus estrategias de producción son más flexibles, al utilizar en gran medida mano de obra familiar y no depender tanto de insumos externos (Arriaga *et al.*, 1996).

2.4 Situación actual

Como la mayoría de las cadenas agroindustriales del país, la de la leche y sus derivados ha mostrado un acentuado proceso de reestructuración tratando de responder a las exigencias que plantean, por un lado, la competencia internacional y, por otro, la modernización de la economía. Estos cambios han sido drásticos y han afectado prácticamente a todos los eslabones productivos (Alvarez, 1998).

A partir de abril de 1996, la SAGAR dio a conocer el Programa de Producción de Leche y de Sustitución de Importaciones, que enmarcan el programa de Alianza

para el Campo. Contempla un programa integral para aumentar la producción del sector lechero apoyando los programas de ganado mejor, fomento lechero, establecimiento de praderas, etc., con sumas que pueden llegar hasta el 50% de los costos del proyecto (Larrondo, 1998).

Actualmente, México ocupa el tercer lugar en tasa de crecimiento de producción láctea con el 3.1%, sólo detrás de Argentina, con el 4.2%, y de Australia, con el 4.0% (García *et al.*, 1997).

Como se señaló, México exhibe una de las producciones más dinámicas en el mundo en los últimos años; sin embargo, las contradicciones en todo el sistema lácteo no dejan de manifestarse (García *et al.*, 1997). Prueba de ello es la persistencia de las importaciones, ya que para 1997 el coeficiente de dependencia alimentaria en leche fue del 24% (Alvarez, 1998).

La producción de leche en México presenta notables diferencias entre sus sistemas de producción, marcadas por las formas de producir, el nivel tecnológico y la interacción con la agroindustria. Las particularidades de los tres sistemas lecheros a nivel nacional determinan su potencial futuro.

Por su importancia se identifican cinco regiones de ganadería lechera con amplio potencial para el crecimiento (cuadro 1) (González, 1997).

Cuadro 1. Regiones de ubicación de la ganadería en pequeña escala y doble propósito

Región	Estados
1 Norte	Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango Y Nuevo León
2 Centro Norte y Occidente	Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas
3 Centro	D F, Hidalgo, Estado de México, Morelos Oaxaca y Puebla
4 Pacífico Sur	Colima, Chiapas, Guerrero, Nayarit, Oaxaca y Sinaloa
5 Golfo y Península de Yucatán	Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán

La característica de la región centro es que en ella se ubican grandes complejos integrados, como son ALPURA y Tizayuca. La mayor parte de la producción se realiza en establos de tipo familiar en condiciones templadas, que utilizan recursos derivados de superficies de riego y de temporal, generalmente en condiciones más favorables de precipitación pluvial, y con un menor uso de concentrados. Es una ganadería de alta importancia social dada la cantidad de productores rurales involucrados (González, 1997).

En cuanto a las escalas más frecuentes de producción, se observa que el 77% de las unidades de producción de leche y el 27% de los inventarios se ubican en hatos de 10 vacas o menos (*Arriaga et al., 200a*); alrededor del 95% de los hatos son menores de 50 vacas. Es decir, la realidad de los sistemas de producción de leche en México dista mucho del estereotipo del productor lechero gran empresario. Menos del 10% de los inventarios se ubican en establos de más de 500 vacas, y estas representan sólo el 0.2% de las explotaciones del país que tienen ganado lechero especializado o de doble propósito (González, 1997)

Debido a la gran importancia en la producción de leche de los sistemas familiares o de pequeña escala, la investigación pecuaria en este rubro se ha incrementado en los últimos años. En los años de 1981 a 1988 se presentaron poco más de 3500 trabajos en foros de investigación, de los cuales el 23 % se refirieron a la producción de leche; de este porcentaje, el 45% correspondió a investigaciones sobre la producción de leche en el trópico, ya que se vislumbra como el principal abastecedor de leche en el corto plazo (Loera, 1996). Por su parte, en el Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), dentro del total de trabajos que se realizaron en la División Pecuaria a principios de esta década, el 41% estuvo relacionado con investigaciones en ganado bovino productor de leche y de doble propósito. De este 41%, el 74.6% se ubicó en aspectos de estudios de forrajes y nutrición.

En los últimos 5 años la investigación pecuaria en México puso mayor énfasis en los sistemas de producción semi-intensivos o de lechería en pequeña escala (cuadro 2) :

Cuadro 2 Tendencias sobre la investigación en sistemas de lechería en pequeña escala y doble propósito

Tipo de Sistema	No. de trabajos	%
Intensivo	70	26
Semi-intensivo	80	30
Doble Propósito	72	27
Lechería en general	48	17
Total	270	100

Fuente: González, 1997

Los datos anteriores apoyan la tesis de que el sistema con más potencial a corto y mediano plazo es el sistema semi-intensivo o de lechería en pequeña escala, debido a las características de este sistema. Una de las áreas de investigación debe ser de nutrición y alimentación, ya que este rubro representa el 50% de los costos de producción, de los cuales el 70% corresponde a erogaciones en efectivo por concepto de compra de alimentos concentrados (Pérez, 1993; Espinoza *et al.*, 1998).

Las perspectivas de desarrollo futuro se orientan más a sistemas de baja inversión de capital, los cuales, aunque tengan un rendimiento moderado, logran la producción a bajos costos. Es particularmente interesante notar el caso de Nueva Zelanda, que basa su producción de leche en el pastoreo de praderas cultivadas, donde, si bien los rendimientos de leche por vaca son la mitad de los rendimientos promedio en los sistemas intensivos de capital (y subsidios) de Estados Unidos, Europa o Israel, los costos de producción son los más bajos en el contexto internacional y carecen de cualquier tipo de subsidio (García, 1996)

En este sentido, una alternativa para el Altiplano Central Mexicano es la utilización de forrajes de alta calidad en la alimentación del ganado lechero de los sistemas de pequeña escala, mediante sistemas de pastoreo intensivo, lo que permite la producción de leche de manera eficiente. Al respecto existen varias experiencias

favorables en condiciones experimentales en el Valle de Toluca (Espinoza y Martínez, 1989; Jaime y Castelán, 1990; Uriarte, 1990; Orozco, 1990; Torres y Torres, 1992; Albarrán, 1999).

2.5 Utilización de praderas en la alimentación de bovinos productores de leche

Aunque algunas especies animales consumen forrajes, pocas están tan bien adaptadas como los rumiantes con una población simbiótica de microorganismos en el rumen. Los rumiantes pueden cubrir sus necesidades de nutrientes para funciones de mantenimiento y producción a partir de forraje sin tener que competir directamente con el hombre por alimento, por lo que los rumiantes juegan un importante papel en la agricultura al aprovechar los subproductos de los cultivos (Forbes, 1995)

La producción intensiva de leche en México ha caído en una gran dependencia en la provisión de nutrientes a través de los alimentos concentrados, dando muchas veces poca relevancia a la contribución que los forrajes de buena calidad pueden hacer a la producción de leche. Al no utilizar forrajes de alta calidad, se hacen necesarios altos niveles de suplementación a fin de obtener los rendimientos por vaca requeridos o establecidos (Arriaga *et al.*, 2000a).

Si bien es cierto que para obtener altos rendimientos es necesario aumentar la densidad energética de la ración mediante el uso de alimentos concentrados, y que una dieta basada en forrajes difícilmente puede cubrir los requerimientos de consumo de materia seca al presentarse limitantes de tipo físico, lo que impide obtener rendimientos superiores a $25 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$, también es cierto que la fuente más barata de nutrientes son los forrajes cultivados en la unidad de producción, y por lo tanto, la utilización de este tipo de alimento debe ser óptima con el objetivo de lograr una producción eficiente y a bajo costo. Antes que recurrir al uso de concentrados, debe asegurarse la provisión de forrajes de buena calidad (Arriaga *et al.*, 2001)

Producción de leche en sistemas de pastoreo

Dada la importancia de la calidad de los forrajes en la composición de raciones para el ganado lechero, y de la contribución que puede obtenerse de ellos en la producción de leche, una forma adecuada de proveer forrajes de buena calidad en climas templados la constituyen las praderas cultivadas de gramíneas y/o leguminosas. La ventaja de estas praderas es que se pueden establecer en suelos en los cuales cultivos como el maíz no son rentables, además de que proporcionan forraje de excelente calidad, con alta palatabilidad. Por otro lado, no existe ningún método de utilización de los forrajes que sea más económico que el pastoreo directo (Hodgson, 1994). Además, el forraje de una buena pradera como alimento único, es capaz de mantener rendimientos de leche adecuados (Arriaga, 1999).

La posibilidad de basar la producción de leche en el pastoreo de praderas cultivadas parte de la amplia evidencia internacional (Hodgson, 1994; Frame, 1994; Liebhardt, 1993; Arriaga y Holmes, 1986; Wilkinson, 1984; Thomas y Young, 1982, Murphy, 1995) y una buena cantidad de experiencias nacionales (Ortiz *et al.*, 1997; Torres y Torres, 1992; Orozco, 1990; Jaime y Castelán, 1990; Espinoza y Martínez, 1989; Uriarte, 1989; Reyes, 1987; Arriaga, 1979), que indican que el pastoreo intensivo de praderas cultivadas es una forma eficaz para reducir los costos de producción y lograr una producción de leche eficiente, además de hacerla más sostenible (Murphy, 1995).

Los sistemas basados en el pastoreo intensivo representan menores costos de producción que los sistemas de alimentación en pesebre, lo que les permite viabilidad financiera aún con producciones modestas por vaca (aunque se obtienen producciones elevadas de leche por hectárea) (Wilkinson, 1984; Hodgson, 1994).

Las ventajas de los sistemas de pastoreo radican en su baja inversión en instalaciones, maquinaria y equipo para la alimentación de los animales y menores

costos de operación (Muslera y Ratera, 1991). El principal punto de ahorro está dado en la alimentación, ya que en pastoreo los animales cosechan su propio alimento y las deyecciones regresan directamente a las praderas, por lo que se ahorran los costos del corte, conservación y acarreo de los forrajes, así como de la limpieza constante de las instalaciones y el manejo de grandes cantidades de estiércol. En esta forma, los sistemas de producción de leche en pastoreo se caracterizan por su flexibilidad y menores costos, tanto de operación, como de inversión, lo que resulta en alta productividad por unidad de superficie, mano de obra y capital invertido.

Por otro lado, los sistemas de pastoreo también contribuyen a la conservación de la fertilidad de los suelos al reintegrar directamente los nutrientes contenidos en las deyecciones, contribuyen a mejorar la estructura del suelo y proporcionan una cubierta vegetal que reduce la erosión. Estos factores intervienen en aumentar la sostenibilidad ecológica de estos sistemas (Murphy, 1995).

La capacidad de los forrajes de promover la producción animal dependerá de factores como: altura, densidad, masa herbácea y la composición nutritiva de la planta. La interacción entre las características de los forrajes y las características de los animales determinarán los rendimientos productivos de ambos (Holmes, 1989).

Comportamiento en pastoreo

El consumo de forraje de los animales en pastoreo durante un periodo determinado es producto del tiempo de pastoreo, número de mordidas y del tamaño de estas (Forbes, 1995; Popp *et al.*, 1997).

En condiciones normales, la actividad de pastoreo se lleva a cabo durante el día, en ovinos y bovinos. Cuando las temperaturas máximas son mayores a 25 °C, el pastoreo se da en un 70% durante la noche, mientras que cuando las temperaturas son menores de 15 °C la actividad de pastoreo se da durante el día.

En general, la mayor actividad de pastoreo se da entre las 06:00 h y las 19:00 h en un amplio rango de ambientes (Krysl y Hess, 1993; Hodgson, 1994).

El tiempo de pastoreo depende tanto de las características del animal como de las características de la pradera. El tiempo promedio de pastoreo de los bovinos es de 9 h/día. El tiempo promedio puede aumentar o disminuir dependiendo de las necesidades del animal o de las características físicas de la pradera y va de un valor mínimo de 6 h a un valor máximo de 13 h (Hodgson, 1994 Krysl y Hess, 1993). Estos datos corresponden a un amplio rango de temperaturas, regímenes de suplementación, manejo de pastoreo y tipos de forraje

El tipo de forraje es otro factor que determina el tiempo de pastoreo, aunque en menor escala. Phillips y James (1998) mencionan que el tiempo de pastoreo fue mayor para vacas que pastorearon una pradera mixta de ryegrass (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), que para vacas que pastorearon una pradera monófito de ryegrass.

Los menores tiempos de pastoreo correspondieron a animales con altos niveles de suplementación (8 kg), mientras que los tiempos máximos de pastoreo se registraron en animales sin suplementación (Krysl y Hess, 1993).

El sistema de pastoreo no afecta el tiempo de pastoreo ($h\ d^{-1}$). Sin embargo, la carga animal sí lo afecta. En cargas animales bajas el tiempo de pastoreo es menor en comparación con cargas animales altas, debido al hecho de que a mayor carga animal la disponibilidad de forraje disminuye (Popp *et al.*, 1997)

La altura del forraje varía considerablemente dentro de la pradera, al igual que la masa herbácea (MH) varía de lugar en lugar. El patrón de densidad de la pradera por lo tanto, será diferente, particularmente cuando la altura de la pradera es variable. Se ha observado que los animales pastorean sólo una porción de la altura de la pradera y que el área de mordida se incrementa con la altura de la

pradera, pero disminuye ligeramente cuando se incrementa la densidad de la pradera (Woodward, 1998; Hodgson, 1994)

El área de mordida alcanza su máximo en praderas altas (Woodward, 1998). Lo anterior explica la baja tasa de mordida reportada por Popp *et al.* (1997), quienes registraron 28 a 32 mordidas por minuto cuando los animales pastorearon praderas altas de alfalfa (*Medicago sativa*).

Cuando la altura y la densidad de la pradera son limitadas, la MH disminuye, por lo que los animales se ven obligados a modificar su comportamiento de pastoreo, aumentando la tasa de mordida por minuto. Si esto no es suficiente para satisfacer el consumo voluntario (CV), el tiempo de pastoreo se incrementa 15% más (Hodgson, 1994; Frame, 1994). Esta situación se presenta cuando la MH de la praderas es de 1000 kg de materia seca (5 cm)/ha (Forbes, 1995).

El número de mordidas que da un animal durante el proceso de pastoreo se encuentra en un rango de 36 000 - 40 000 mordidas /día. Los animales no van a sobrepasar este rango máximo de mordidas aun en condiciones limitantes de la pradera, por lo que en esta situación podría no ser satisfecho el consumo de los animales (Hodgson, 1994). La tasa normal de mordida es de 60 min^{-1} . Este número se modifica según las características de la pradera o de los requerimientos del animal, registrándose valores mínimos de tasa de mordida de 28 mordidas min^{-1} (Popp *et al.*, 1997) mientras que un valor máximo reportado es de 75 mordidas min^{-1} (Frame, 1994).

El consumo por mordida es la variable más sensible a las características de la pradera, mientras que la tasa de mordida y el tiempo de pastoreo son proporcional al tamaño de la mordida y actúan como mecanismos compensatorios cuando el tamaño de mordida es menor al óptimo para obtener un nivel de consumo adecuado (Hodgson, 1994).

El tamaño de la mordida está positivamente relacionado con la MH o la altura de la pradera; el peso del forraje obtenido en una mordida es de 0.2 - 4.0 g (Hodgson, 1994)

La contribución nutritiva de un forraje reside en la dieta que el animal pueda seleccionar, que depende de la calidad y cantidad del forraje presente en la pradera (Burns *et al.*, 1992).

Para entender el comportamiento de los animales en pastoreo a partir de tiempo de pastoreo, número de mordidas y tamaño de estas es necesario conocer la estructura física de la pradera que va a ser pastoreada, ya que las características de esta (altura, perfil vertical, densidad y composición botánica) van a determinar, en parte, el comportamiento y la eficiencia al pastoreo de los animales (Woodward, 1998).

Selección de la dieta en la pradera

La preferencia del animal por hojas sobre tallos y tejido vivo sobre tejido muerto resulta en mayor consumo de MS (Burns *et al.*, 1992; Hodgson, 1994). La selección de la dieta es un elemento crucial en los sistemas de pastoreo. Se hacen dos distinciones: 1) selección entre especies de forrajes y 2) selección entre partes de plantas (tallo, hoja) (Hodgson, 1994; Herrero, 1998).

La preferencia es principalmente un reflejo de la respuesta del animal ante las características químicas y físicas entre las hojas y los tallos de especies de plantas en particular, que afectan los sentidos de la vista, tacto, gusto y olfato. El gusto y el olfato son probablemente los más importantes para la determinación de la elección final entre los componentes de una pradera, aunque la vista y el tacto influyen en su primer acercamiento y en la apreciación de los componentes (Hodgson, 1994).

Factores de la pradera que afectan el consumo del forraje

Bajo sistemas de pastoreo, la composición de la capa herbácea de la pradera, representada por MH, altura y densidad, influyen en la composición de la dieta, así como en la cantidad consumida (Forbes, 1995). En consecuencia, la selección por parte del animal se altera al realizar ajustes en el comportamiento de consumo y procesos digestivos, lo que determina el CV de MS por día en respuesta a las diferencias biológicas y físicas de la dieta (Burns *et al.*, 1992).

Bajo condiciones uniformes existe la posibilidad de reducir la complejidad de las características de la pradera a dos factores: MH y altura de la pradera. La primera se define como el peso de la MH en MS por unidad de área de suelo, expresada como kg por ha. La altura de la pradera es la altura de la superficie a la parte superior de la hoja, medida en una pradera sin alteración. Los animales responden de manera más consistente a las variaciones en la altura del forraje que a las variaciones en la densidad de la MH (Hodgson, 1994).

Es en función de la altura de la pradera que se distribuyen los componentes de ésta; es decir, que entre 3 y 9 cm se concentra una mayor proporción de hoja que de tallos, lo que permite lograr un consumo de nutrientes adecuado en cuanto a calidad (Hodgson, 1994).

Estudios realizados para determinar la preferencia detectaron una mayor preferencia por hojas que por tallos, aún cuando ambas fracciones de la planta eran de similar digestibilidad. Esto sugiere que otros factores, tales como la estructura física de la planta, influyen en la preferencia mostrada por los animales (Laredo y Minson, 1993).

La mayor concentración de nutrientes en el forraje de praderas de baja altura tiene un efecto positivo sobre el consumo, por lo que el ganado lechero prefiere consistentemente praderas de baja altura (Phillips y James, 1998).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Praderas altas no representan una ventaja para bovinos lecheros en pastoreo, ya que implican mayor gasto de energía en los movimientos de prensión del forraje, disminuyendo la eficiencia de pastoreo de los animales y, por consiguiente, afectando algunos de los factores que determinan el CV en sistemas de pastoreo. La altura de la pradera posiblemente incrementó el tiempo de pastoreo en el trabajo realizado por Popp y colaboradores (1997), en el cual también se registraron menores consumos de forraje. Por su parte, Ferrer *et al.* (1995) relacionaron bajos consumos de praderas altas (52.1 cm) con bajos valores de digestibilidad (630 g kg⁻¹ de MS).

Las variaciones en la altura de la pradera se relacionan en forma específica con la digestibilidad del forraje (a menor altura, mayor digestibilidad), por lo que tiene sentido pensar en la forma de cómo el rendimiento del animal cambia en respuesta a las características de la pradera (Hodgson, 1994).

Por lo tanto, se ha determinado que alturas menores a 6 cm limitan el CV de animales en pastoreo (Hodgson, 1994). Lo anterior es apoyado por Rook *et al.* (1994), quienes indican que a 4 cm se limita el CV de los animales en pastoreo, mientras que en alturas de 6 y 8 cm los animales no ven restringido su CV. Por lo tanto, se determina que la altura de praderas bajo sistemas de pastoreo continuo no debe ser menor de 6 a 8 cm, de manera que se pueda garantizar un consumo adecuado por parte de los animales.

De manera general, en los forrajes existe una relación positiva entre digestibilidad de la MS y el nivel de CV de los animales. La digestibilidad de las hojas jóvenes de forrajes de clima templado está usualmente entre 800 y 900 g kg⁻¹ de MS, disminuyendo a 700 g kg⁻¹ de MS al aumentar la madurez del forraje (Forbes, 1995).

Resultados similares de digestibilidad (740 g kg⁻¹ de MS) son mencionados por Ferrer *et al.* (1995), en praderas de pasto Orchard (*Dactylis glomerata*) con una altura promedio de 15.3, aunque este pasto tiene la característica de ser de menor

digestibilidad (Frame, 1994) en comparación con la digestibilidad que puede alcanzar el pasto ryegrass (850 g kg^{-1} de MS).

Por lo tanto, es posible manipular la altura (en la época de mayor producción de forraje) de las praderas incrementando la presión de pastoreo, con el objetivo de propiciar una defoliación continua, manteniendo una alta relación de retoños, dando por resultado un mayor número de hojas jóvenes, con un elevado potencial fotosintético y calidad nutritiva adecuada. Lo anterior permite el incremento en el consumo de forraje en cantidad y calidad, resultando finalmente en incrementos en la producción (Fisher y Dowdeswell, 1995).

Factores de los animales que afectan el consumo de forraje

Entre los factores de los animales que determinan el CV se encuentran: raza, edad, peso corporal y condición corporal, número de pariciones, gestación, etapa de lactación, rendimientos de leche y alimentación previa (Ingvarsen, 1994).

Raza

El CV de bovinos de diferente raza va a estar dado por la talla corporal característica de cada raza. En razas de gran talla el CV es mayor que en razas de talla menor. Foldager y Haarbo (1994) analizaron las ecuaciones de estimación de "Capacidad de consumo voluntario" del sistema danés y concluyeron que la máxima capacidad de CV del ganado Jersey con un peso corporal promedio de 347 kg es sólo del 79.4% con respecto a la capacidad de consumo de ganado danés rojo, que promedia 500 kg de peso vivo.

Persaud y colaboradores (1991), quienes realizaron un análisis retrospectivo de los registros de consumo de alimento de bovinos Holstein-Friesian, concluyen que existe una correlación genética positiva entre el peso vivo y el consumo voluntario. Lo anterior concuerda con lo reportado por Foldager y Haarbo (1994): a mayor talla corporal mayor capacidad de consumo de MS.

Edad

La edad está estrechamente relacionada con los requerimientos de nutrientes y de consumo de MS, de acuerdo con las diferentes etapas fisiológicas de los animales (crecimiento, lactación, gestación y periodo seco). Además, se relaciona con el comportamiento de los animales en pastoreo.

La capacidad de consumo en el primer tercio de lactación de vacas primerizas a la edad de 2 años con un peso de 500 kg es sólo cercano al 80% de su peso corporal adulto en comparación con vacas multíparas, y sólo cerca de dos terceras partes de esta diferencia se explica por diferencias en el peso vivo y en rendimientos de leche (Ingvarsen ,1994).

En animales de 7 años de edad, la actividad de caminar durante el pastoreo disminuye, ya que las distancias diarias recorridas por animales adultos en comparación con animales jóvenes (3 años) son menores (Krysl y Hess, 1993).

Respecto a la edad y al comportamiento en pastoreo se observa que animales jóvenes dan mordidas ligeras, las cuales son menos profundas que las de los animales adultos y de igual manera estos caminan más que los adultos; esto es indicativo de una mayor selectividad de forraje dentro de la pradera. Por lo tanto, la tasa de mordida, así como el tiempo de pastoreo total, es menor en animales jóvenes que en adultos (Ferrer *et al.*, 1995).

Peso y condición corporal

El peso vivo es uno de los principales factores que influye en el CV de los bovinos productores de leche. La predicción del consumo es difícil debido a las interacciones entre el animal y la dieta, y se vuelve particularmente complicada bajo condiciones donde existen pocos datos confiables para realizar los cálculos. Por lo tanto, se puede concluir que el peso vivo es el principal factor que determinan consumo de MS (Forbes, 1995).

Existe una tendencia muy aceptada de expresar el consumo por unidad de peso metabólico, el cual es equivalente a elevar el peso corporal (PC) a 0.75 o 0.73 (Mertens, 1994). El exponencial $PC^{0.73}$ es considerado por Brody (1945) citado por Meijs, (1981), como el factor más apropiado que relaciona al metabolismo basal con el peso vivo en animales maduros.

La lactación genera un gran incremento en la demanda de nutrientes, especialmente en el ganado seleccionado para altos rendimientos. Existe una correlación entre CV y rendimientos de leche, pero el CV está más estrechamente relacionado con el peso corporal que con los rendimientos de leche; es decir, a mayor peso corporal mayor consumo, pero no necesariamente mayores rendimientos de leche (Forbes, 1995). Esta relación está claramente demostrada en el trabajo de Persaud y colaboradores (1991), quienes analizaron los registros de producción de leche y consumo de alimento de bovinos Holstein-Friesian, con objeto de estimar la correlación que existe entre peso corporal y producción de leche. Llegaron a la conclusión de que existe una correlación genética positiva entre el peso vivo y el CV y una alta correlación genética negativa entre el peso vivo y la producción de leche.

En el AFRC (1993) se ofrece una fórmula para estimar el CV de MS para ganado lechero, la cual se basa en la ecuación VH1 de Vadiveloo y Holmes (1979):

$$CMS \text{ (kg d}^{-1}\text{)} = 0.076 + 0.404 C + 0.013 W - 0.129 n + 4.12 \log_{10} (n) + 0.14 Y$$

donde:

CMS = consumo de materia seca

C = kg de MS d^{-1} de alimento concentrado

W = peso vivo kg

n = semana de lactación

Y = rendimientos de leche $kg d^{-1}$

La capacidad de consumo en los rumiantes también está influida por su condición corporal. Se ha demostrado que vacas delgadas no lactantes consumen 24 % más

MS que vacas con condiciones corporales (CC) > de 3.5, en escala de 1-5 puntos (Ingvarlsen ,1994).

En vacas que llegan al parto en condiciones de obesidad, la capacidad de CV durante el primer tercio de lactación es menor que la de vacas delgadas, aunque los rendimientos de leche de vacas con CC > 3.5 no necesariamente son menores; por el contrario, vacas que llegan al parto con CC = 3.5 pierden menos peso y los rendimientos de leche no se ven afectados (Meijs, 1981; Freer, 1981; Ingvarlsen ,1994; Forbes, 1995).

La condición corporal de las vacas al parto ejerce un efecto en la tasa de duración y movilización de reservas grasas. El efecto de la movilización de 1.0 kg de grasa por día en el consumo varía de -0.09 kg de MS por día a -4.7 kg de materia seca por día (Ingvarlsen ,1994).

Gestación

En animales gestantes, dos efectos influyen en el CV de MS. El incremento de las necesidades por nutrientes para el desarrollo del feto ocasiona que el CV aumente desde el momento de la concepción hasta la mitad de la gestación, (Forbes, 1995). En etapas tardías de gestación, el volumen abdominal se reduce al incrementarse el tamaño del feto y, por lo tanto, el espacio disponible para la expansión del rumen se reduce; como resultado, el CV se deprime, especialmente si la dieta es predominantemente de forrajes (McDonald *et al.*, 1987).

En los bovinos lecheros, a partir de la semana número 26 de gestación la capacidad de CV disminuye 1.53% (0.17 kg) semanalmente, cambio que corresponde a limitantes físicas, por lo que vaquillas y vacas deben ser alimentadas con cantidades de concentrados moderadas con la finalidad de acumular reservas grasas que serán utilizadas en la siguiente lactación. La capacidad de consumo respecto de la energía se deprime junto con la regulación hormonal, aunque este valor en este tipo de ganado no ha sido cuantificado (Ingvarlsen ,1994).

Lactación

La regulación del CV en vacas lactantes se caracteriza por una falla temporal en la regulación del balance energético para mantener el peso corporal durante la lactación temprana. Posterior al parto, los requerimientos de energía para mantenimiento y producción son mayores que la capacidad de consumo de energía y, por lo tanto, hay una pérdida de peso y de condición corporal (Forbes, 1995).

En vacas durante el primer tercio de lactación, los picos de producción de leche se dan entre la 5ª y 7ª semana posparto, mientras que el máximo consumo de MS se alcanza de la 8ª a la 22ª semana posparto. El incremento en el consumo de la semana 1 posparto al momento en que se alcanza el máximo consumo varía entre 2 y 111 %. Estas diferencias dependen del tipo de dieta durante la lactación, pero sobre todo dependen de la condición corporal (cantidad de reservas grasas) con las que llegan al parto (Ingvarsen, 1994).

Estimaciones de consumo de forraje de vacas en pastoreo sugieren que vacas lactantes consumen 28% más forraje que vacas no lactantes (Meijs, 1981). En vacas lactantes, datos estimados indican que el consumo de MS se incrementa de 0.66 a 2.5 kg por cada 100 kg de peso vivo (Ingvarsen, 1994).

El tiempo de pastoreo durante la lactación temprana es un factor que estará determinado por los rendimientos de leche de las vacas. Cuando los rendimientos de leche de vacas en pastoreo se encuentren en rangos de 5-25 kg de leche, el tiempo de pastoreo será de 5 min más por cada kilogramo de leche; mientras que para vacas que producen entre 20 y 35 kg de leche, el tiempo requerido de pastoreo por cada kg de leche es de 12 min (Herrero *et al.*, 1998).

El CV de vacas primíparas y multíparas es diferente, aunque esta diferencia se explica en parte por las diferencias en peso corporal y rendimientos de leche, ya que la capacidad de CV de vacas primíparas es sólo del 80 % en relación a vacas multíparas (Ingvarsen, 1994).

Efecto de las condiciones de la pradera sobre los rendimientos de vacas en lactación

Los forrajes de clima templado que más son utilizados son: ryegrass italiano (*Lolium multiflorum*), ryegrass bianual (*Lolium hybridum perenne vs multiflorum*) y leguminosas como trébol blanco. Las ventajas de estos forrajes sobre otros de clima templado son: resistencia a bajas temperaturas y su alto valor nutritivo y alta digestibilidad (Frame, 1994; Améndola y Martínez, 1998).

La utilización de praderas mixtas ryegrass (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) presenta ventajas sobre las praderas monófitas de ryegrass. La ventaja radica en que hay una mayor disponibilidad de forraje en la pradera mixta así como una mayor calidad nutritiva, que permite mayor oportunidad de selección por parte de los animales (Orozco, 1990; Phillips y James, 1998). Además, disminuyen los requerimientos de fertilización inorgánica

La inclusión de trébol blanco en una pradera de ryegrass aporta proteína, que permite incrementos en la producción de leche por vaca y permite reducir los niveles de fertilización nitrogenada (Phillips y James, 1998). Una mayor proporción de trébol blanco dentro de una pradera (150 g kg⁻¹ MS) permite obtener mayores rendimientos de leche que praderas con menor proporción de trébol blanco (Wilkins *et al.*, 1994).

Lo anterior se explica por el hecho de que el trébol blanco contiene la mitad de las paredes celulares y 50% más proteína que el ryegrass (McDonald *et al.*, 1987), por lo que la tasa de digestibilidad de la materia orgánica (MO) y paredes celulares es más rápida, disminuyendo el tiempo de retención en el rumen y proveyendo un mayor flujo de aminoácidos hacia el intestino. Esto permite aumentar en 20% el consumo de MS y mayor producción de leche (Thompson, 1984).

En el trabajo de Phillips y James (1998) se evaluó el comportamiento en pastoreo de vacas sobre praderas monófitas de ryegrass (RG) y trébol blanco (TB) y sus combinaciones bajo diferente manejo. El desempeño productivo de las vacas que

pastorearon en praderas mixtas (RG+TB) fue mayor, suponiendo que el CV también fue mayor. Este resultado se explica debido a las ventajas de las praderas mixtas (RG+TB) de mantener una mayor cantidad de forraje disponible, una densidad y altura adecuadas para el buen desempeño de los animales en pastoreo y, principalmente, una dieta de mejor calidad, mayor digestibilidad y proteína.

La desventaja de usar praderas monófitas, tanto de RG como de TB, es que la capacidad para mantener una altura adecuada es menor en comparación con praderas mixtas (Orozco, 1991; Phillips y James, 1998). Aunado a lo anterior, las praderas monófitas, y en especial las de trébol blanco, tienen una menor capacidad de mantener a lo largo de los ciclos de pastoreo cargas animales adecuadas debido a una menor producción de MH por ha/año (Hodgson ;1994).

La producción de forrajes exhibe una curva de crecimiento estacional debido a fluctuaciones de temperatura e intensidad de luz, por lo que existen épocas en que la producción de forraje presenta un déficit importante para cubrir las necesidades de los animales, haciendo necesaria la utilización de suplementos

Bajo condiciones de pastoreo, la utilización de ensilado de maíz como suplemento, permite cubrir los requerimientos de consumo de MS al mismo tiempo que aporta energía, convirtiéndose en una práctica de alimentación adecuada en las épocas de invierno.

2.6 Utilización de suplementos en animales en pastoreo

Los forrajes representan la fuente de nutrientes más barata para la producción de leche, y los costos de energía son menores en sistemas basados en forrajes, que en los sistemas convencionales de alimentación en pesebre. Sin embargo, la oferta de forraje en sistemas de pastoreo es variable a lo largo del año, por lo que es necesario recurrir a la alimentación suplementaria para suplir estas deficiencias (Tesfa *et al.*, 1995).

El objetivo de la alimentación suplementaria es el de estabilizar el consumo de alimento durante la época en que el crecimiento de las praderas disminuye, permitiendo rendimientos animales estables y, por otra parte, el de aumentar los consumos de MS y de EM, incrementando los rendimientos individuales o por unidad de superficie (Leaver, 1985; Mayne *et al.*, 2000).

Se ha mencionado en repetidas ocasiones que el forraje pastoreado es una forma más económica de nutrientes que cualquiera de los alimentos suplementarios convencionales. Por lo anterior, se estima que el beneficio económico directo que se deriva del uso de un suplemento depende del grado de sustitución de alimento que tenga lugar (Hodgson, 1994).

2.7 Ensilado de maíz como suplemento en la alimentación de bovinos productores de leche

Los cultivos forrajeros comúnmente ensilados son pasto y maíz (Phipps *et al.*, 1992; Hamelers, 1998), aunque existe la tendencia de experimentar con cultivos que permitan proveer de mayor cantidad de MS por kg, como lo es el trigo (Leaver y Hill, 1995).

Se destacan cuatro ventajas del ensilado de maíz sobre el ensilado de pasto: a) el contenido de energía metabolizable (EM) es mayor en el ensilado de maíz en comparación con el ensilado de pasto; b) no se requiere de aditivos para asegurar una fermentación estable en el ensilado de maíz; c) el costo por unidad de energía metabolizable es mucho más bajo que para el ensilado de pasto; y d) el maíz requiere ser cosechado una sola vez al año (Mosquera y González, 1998).

Otro factor para tomar en cuenta y, sin duda uno de los más importantes, es que el ensilado de maíz puede sustituir a los alimentos concentrados (en cuanto a energía), los cuales incrementan los costos de producción sin un incremento paralelo en la producción de leche (Mosquera y González, 1998).

Es importante también mencionar las desventajas del ensilado de maíz; una de las más importantes es su bajo contenido de proteína en comparación con el ensilado de pasto (Mosquera y González, 1998).

Para cumplir con los objetivos de disminuir los costos de producción es importante que los forrajes aseguren un alto valor energético y un alto consumo de MS (Phipps *et al.*, 1992). El contenido óptimo de MS del ensilado de maíz es de 300 g/kg MS (Hameleers, 1998) y ensilados de buena calidad pueden proveer de 11.3 MJ de EM kg⁻¹ MS (AFRC, 1993).

La inclusión de ensilado de maíz en las dietas de bovinos productores de leche ha permitido el incremento del consumo total de MS, de los rendimientos de leche y del contenido de proteína en la leche (Phipps *et al.*, 1992).

El nivel adecuado de inclusión de ensilado de maíz en dietas de bovinos productores de leche basadas en ensilado de pastos es de 50%, ya que en este nivel se maximiza el aporte de EM y permite un consumo de proteína adecuado a partir de un concentrado, no afectándose el contenido de proteína en la leche; por el lado contrario, un nivel de suplementación con ensilado de maíz de 75% o más ocasiona una disminución en el consumo de proteína de la dieta y en los rendimientos de proteína en la leche (Phipps *et al.*, 1992).

En México no existe una cultura de conservación de forrajes por lo que en las épocas críticas para la producción de forrajes la alimentación del ganado productor de leche se basa fundamentalmente en grandes cantidades de alimentos concentrados (Albarrán *et al.*, 1998; Albarrán, 1999). Lo anterior propicia un aumento en los costos de producción de leche en sistemas campesinos (Espinoza *et al.*, 1998).

En el Valle de Toluca se realizó un monitoreo de prácticas de alimentación desarrolladas por campesinos productores de leche. Los resultados muestran que el integrar ensilado de maíz con pastoreo de praderas cultivadas permite

estabilizar los rendimientos de leche durante la época de sequía, siendo posible reducir los niveles de suplementación con concentrados a menos del 50% de lo suministrado por otros productores y obtener rendimientos de leche 22.5% mayores (Albarrán *et al.*, 1998, Albarrán, 1999).

Por su parte, Martínez y Améndola (1998) registraron incrementos significativos de leche por ha ($P < 0.01$) a niveles de suplementación máximos de 18 kg de ensilado de maíz, con lo que concluyen que la utilización de ensilado de maíz como suplemento para vacas lecheras en pastoreo es una alternativa viable para resolver el problema de déficit de forraje en la época invernal, permitiendo incrementar la carga animal y con ello la producción de leche por ha.

2.8 Utilización de concentrados en la alimentación de bovinos productores de leche

La cantidad de concentrados ofrecidos diariamente a la vaca lechera es el factor de alimentación sobre el cual el productor tiene un pleno control. Debido a que los concentrados representan la mayor proporción de los costos totales de producción, la decisión de utilizarlos en la dieta de las vacas lecheras es de primordial importancia (Hodgson, 1994).

Una de las principales dificultades en la alimentación suplementaria es la estimación del consumo de forraje (kg MS d^{-1}) que permita determinar el nivel de suplementación requerido para mantener o incrementar los rendimientos animales (Mayne *et al.*, 2000).

La respuesta animal a la suplementación está en función del efecto de la suplementación sobre el consumo de forraje (tasa de sustitución); a su vez, existen varios factores, tanto de animal como de la pradera, que determinan esta respuesta (Mayne *et al.*, 2000).

Varios estudios en pastoreo indican que el factor clave que determina la tasa de sustitución es la disponibilidad de forraje. Bajo condiciones de alta disponibilidad de forraje, la suplementación resulta en grandes tasas de sustitución con un

relativo pequeño incremento en el consumo total de MS y EM. En contraste, cuando la disponibilidad es reducida, la tasa de sustitución es baja y la respuesta en consumo diario de MS y EM se incrementa (Mayne *et al.*, 2000).

De la misma forma, el grado de efecto substitutivo está relacionado con el tipo de suplemento y el potencial productivo del animal. En general, existe una mayor depresión en el consumo de forraje cuando se ofrecen suplementos de forrajes ensilados, reflejándose en un efecto de llenado en el rumen en comparación con los suplementos concentrados; la depresión del consumo también es mayor en animales de bajo potencial productivo que en animales de alto potencial productivo (Mayne *et al.*, 2000).

En el caso de los suplementos a base de granos, los cuales contienen componentes altamente fermentables, tales como almidón, se ha señalado que éstos deprimen el consumo de forraje, reduciendo el consumo de energía (Sutton, 1981). Este efecto se debe a que los almidones son rápidamente fermentados en el rumen, lo que ocasiona una reducción en el pH ruminal, limitando la digestión de celulosa y, por lo tanto, disminuye la tasa de pasaje de la digesta y el consumo total de alimento (Leaver, 1985; Tesfa *et al.*, 1995).

Al respecto, Arriaga y Holmes (1986) mencionan que al suplementar a vacas en pastoreo con 4 kg de MS de concentrado, la digestibilidad del forraje consumido en la pradera disminuyó en 32.8 g kg⁻¹ de MS por kg de concentrado ofrecido. Estos investigadores concluyeron que los suplementos basados en cereales ofrecidos a vacas con acceso a forrajes de alta calidad deprimen la digestibilidad, reduciendo el beneficio nutricional del suplemento con concentrados.

Por otra parte, trabajos realizados en sistemas de estabulación han demostrado que las tasas de sustitución de forraje se incrementan con el aumento en la cantidad de concentrado ofrecido. Sin embargo, las condiciones son diferentes cuando se utiliza un sistema de pastoreo, ya que los concentrados, en general, no

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

han tenido un efecto importante en las tasas de sustitución, en comparación con los sistemas de estabulación (Leaver, 1985).

Como resultado de la revisión de varios trabajos de suplementación con concentrados realizados por algunos investigadores, se ha encontrado que, en promedio, la respuesta a la suplementación ha sido de 0.32 kg de leche por cada kg de concentrado ofrecido. Sin embargo, el impacto de la suplementación sobre los rendimientos de leche y el efecto substitutivo tienen implicaciones más amplias que esto. La sustitución de forraje puede dar como resultado un ahorro importante de forraje en una época en que las tasas de crecimiento son bajas, y de este modo se puede tener un impacto sobre el subsecuente crecimiento del pasto (Hodgson, 1994).

Frente a los argumentos presentados anteriormente, la decisión de utilizar algún suplemento se debe tomar con el objetivo de lograr un bajo costo de producción y una eficiente utilización de la pradera.

2.9 Análisis económico mediante el uso de presupuestos

Dillon y Hardaker (1993) definen a los presupuestos como una relación formal de las características técnicas y económicas de una actividad particular, presentadas en una forma que permite que la planeación proceda.

Por su parte, Wiggins y colaboradores (2001) mencionan que los presupuestos consisten simplemente en un recuento de costos y retornos, y no obstante las diversas formas de interpretar la información, los presupuestos son herramientas en interés de la claridad y la aplicación práctica.

Dentro de la actividad pecuaria y, particularmente en la actividad lechera, la alimentación representa el mayor costo de producción, además de que los costos de alimentación varían, dependiendo de la época del año (forrajes) y de las fluctuaciones del mercado (concentrados) a lo largo de un ciclo productivo; por lo

que se considera que la mejor metodología para estimar la relación entre costos y los retornos es la utilización de los presupuestos parciales.

Los presupuestos parciales son definidos por Wiggins y colaboradores (2001) como aquella metodología que permite examinar el impacto de los cambios en la empresa, observando sólo aquellos costos y retornos que cambian a lo largo de un ciclo productivo.

Los presupuestos por actividad incluyen algunos o todos de los siguientes componentes:

- Una sencilla, pero adecuada definición de la actividad, estableciendo qué se produce y cómo.
- Una lista de la demanda de los recursos de unidad de producción (tierra, requerimientos de labor) por unidad de la actividad.
- Cuantificación de toda interrelación entre la actividad específica y otras posibles actividades.
- Una lista de cualquier restricción existente, no sólo de los recursos a nivel de la actividad (restricciones del mercado, preferencias personales del productor)
- Una lista de los insumos variables y de los costos variables por nivel unitario de la actividad.
- Una relación de los productos por unidad de la actividad y, si el producto es vendido, una estimación neta del precio neto recibido.

Este tipo de análisis es menos demandante de información que el llevar a cabo el análisis completo de los presupuestos de toda la explotación, ya que permite analizar los gastos que influyen directamente en la actividad a evaluar.

3. Hipótesis

Hipótesis General

La integración de forrajes de buena calidad como base de la alimentación de vacas lecheras Holstein en sistemas de producción de leche en pequeña escala permite una producción eficiente de leche, entendiendo la eficiencia como la relación entre el producto obtenido y los recursos empleados.

3.1. Hipótesis Específicas

Época de secas:

Existe un nivel de utilización de ensilado de maíz como suplemento que permite cubrir la disminución en la producción de forraje y maximizar la producción de leche por vaca en la época de invierno-primavera.

Época de lluvias:

No existe una respuesta económica significativa a la suplementación con alimentos concentrados cuando la base de la alimentación es el pastoreo de praderas de alta calidad en las épocas de verano-otoño.

4. Objetivos

4.1. Determinar el nivel óptimo de inclusión de ensilado de maíz en la alimentación de vacas lecheras Holstein, cuya base de alimentación es el pastoreo de praderas cultivadas para la producción de leche en la época de invierno-primavera.

4.2. Determinar los consumos de pradera de vacas lactantes en pastoreo mediante un marcador externo de producción de heces (óxido de cromo Cr_2O_3)

4.3. Determinar la producción de forraje de praderas bajo pastoreo, mediante la estimación de:

- Acumulación neta de forraje
- Calidad nutritiva del forraje

4.4. Evaluar los rendimientos productivos de vacas en pastoreo debido a diferentes niveles de ensilado de maíz o concentrados a partir de las variables:

- Rendimientos de leche
- Composición de leche (grasa y proteína)
- Condición corporal
- Peso corporal

4.5. Realizar un análisis económico de la respuesta a la inclusión de ensilado de maíz y alimentos concentrados mediante la metodología de presupuestos parciales.

5. Material y Métodos

5.1 Praderas y ensilado de maíz

Los experimentos se realizaron en dos praderas de una superficie de 0.75 ha cada una. Las praderas fueron establecidas el 16 de mayo de 1999 con una mezcla de 25 kg ha⁻¹ de *Lolium perenne* cv. Nui, 11 kg ha⁻¹ *Lolium multiflorum* cv. Thama y 4 kg ha⁻¹ de *Trifolium repens* cv. Pitaw. Se fertilizó a la siembra con 100 kg ha⁻¹ de urea (46% de N), 100 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio (50%) y 100 kg ha⁻¹ de superfosfato triple (46% de P₂O₅).

El mantenimiento de las praderas antes y durante la realización del experimento consistió en dosis de fertilización de 100 kg ha⁻¹ de urea y riegos mensuales, excepto en el mes de abril debido a la falta de agua para riego (experimento suplementación con ensilado de maíz).

Se estimó la acumulación neta de forraje (ANF) como indicador de la disponibilidad de forraje a lo largo de cada experimento. Las mediciones se realizaron cada 21 días. La metodología consistió en colocar dentro de una pradera experimental cinco jaulas de exclusión con malla de alambre (2.5 x 0.5 m) distribuidas al azar. En el día 1 de medición se colocó la jaula de exclusión en un área de la pradera y se procedió a tomar cinco mediciones de altura fuera de la jaula, cuidando que las características del área a medir fueran similares a las del área excluida por la jaula. Posteriormente se colocó un cuadrante de fierro de 0.5 m² (2.0 x 0.25 m) y se tomaron cinco mediciones de altura; enseguida se procedió a cortar el forraje dentro de cada cuadrante a ras del suelo con unas tijeras de esquila. El forraje de cada cuadrante fue llevado a laboratorio donde se determinó materia seca (MS) y materia orgánica (MO). Para el día 21 se realizaron cinco mediciones de altura dentro de cada jaula de exclusión y se procedió a cortar el forraje a ras de suelo con el cuadrante de fierro (0.5 m²).

La altura se midió mediante la técnica de plato ascendente descrita por Hodgson (1994). La medición de altura y los cortes de forraje permitieron establecer la ecuación de regresión que estimó la masa herbácea (MH) presente al momento de cada corte (kg MO ha⁻¹); por lo tanto:

$$\text{ANF (kg MO ha}^{-1}\text{)} = \text{MH (día 21)} - \text{MH (día 1)}$$

El maíz ensilado (1.5 ha, ciclo primavera-otoño 1999) correspondió a maíz criollo cultivado de forma tradicional por los productores vecinos a la comunidad de San Cristóbal. El maíz fue sembrado en el mes de abril y fue cosechado el 20 de octubre de 1999. El proceso de corte y picado del maíz duró dos días; el ensilado fue compactado con tractor y cubierto al final del proceso con una capa de plástico negro calibre 600 micras; se depositó tierra sobre la capa de plástico para evitar bolsas de aire entre el ensilado y el plástico; no se aplicó ningún tipo de aditivo al material ensilado. El silo fue destapado el día 9 de diciembre de 1999.

Debido a una cantidad insuficiente de material ensilado se procedió a comprar ensilado de maíz a mediados y a finales del experimento con un productor vecino a la comunidad y a la Posta Zootecnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia – UAEM, respectivamente.

5.2 Manejo del pastoreo

El sistema de pastoreo fue continuo en las praderas que contaban con cerco eléctrico perimetral. La carga animal fue de 4 vacas ha⁻¹. El tiempo de acceso a las praderas fue de las 7:00 h a las 16:00 h (9 h en total) para el experimento suplementación con ensilado de maíz (SEM), y para el experimento suplementación con concentrados (SC) el acceso a praderas fue de 7:00 h a 18:00 h (total 11 h).

Se planteó inicialmente una altura mínima de entre 6 y 8 cm, pero no se pudo cumplir con esta meta debido a las difíciles condiciones meteorológicas y a la alta carga animal, como se discutirá en la sección correspondiente. La altura de la

pradera se midió de acuerdo con la técnica de plato ascendente (Hodgson, 1994) cada tercer día (n=20), obteniendo la altura promedio por día y por PE

Las vacas tuvieron acceso a bebederos dentro de la pradera con capacidad de 120 lts, ubicados en carriles laterales a las praderas; adicionalmente se les proporcionó sales mineral (Fosforisal® Purina) dentro del establo a lo largo de los experimentos.

5.3 Manejo y mediciones en los alimentos

El concentrado que se utilizó fue de la marca comercial Malta®, con 160 g kg⁻¹ de proteína cruda (PC). La cantidad ofrecida de concentrado dependió del experimento y de los tratamientos en cada experimento. Para cada experimento, se ofreció 1 kg de alimento peletizado con 16 g kg⁻¹ de óxido de cromo (Cr₂O₃), mezclado por una empresa comercial y con un contenido de 160 g kg⁻¹ de PC, para totalizar 3 kg de alimento ofrecido por vaca d⁻¹. Los ingrediente del alimento con Cr₂O₃ fueron 800 g kg⁻¹ MS de maíz y 200 g kg⁻¹ MS de soya.

Muestras del concentrado y del ensilado de maíz fueron tomadas diariamente durante la última semana de cada PE; las muestras de pradera fueron tomadas cada 21 días, coincidiendo este muestreo con el de los demás alimentos. Las determinaciones que se realizaron fueron: MS, MO, proteína cruda (PC) (N x 6.25), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad *in vitro*. Se tomaron muestras del alimento con óxido de cromo para posteriormente determinar la cantidad de óxido de cromo consumido por cada vaca en los diferentes periodos experimentales.

La técnica de pastoreo simulado consistió en cortar con la mano pasto cercano al área de pastoreo de los animales para obtener una muestra de forraje similar a la que los animales consumieron durante el pastoreo (Le Du y Penning, 1982).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para la determinación del consumo de pradera se utilizó la técnica de óxido de cromo (Cr_2O_3) (Uden *et al.*, 1980). Se ofreció a las vacas durante los últimos 14 días de cada PE (tres semanas cada uno) 1 kg de concentrado con Cr_2O_3 . Durante los últimos siete días de cada periodo se tomaron pequeñas muestras de heces directamente del recto de cada una de las vacas, después de las ordeñas de la mañana y tarde, las cuales fueron conjuntadas para obtener, al final del periodo, una muestra compuesta por vaca y PE, que fue desecada a una temperatura de 60 °C a peso constante para las determinaciones de MS, MO y óxido de cromo. La concentración de Cr_2O_3 en heces permitió determinar la producción de heces (Lascano *et al.*, 1990) a partir de lo cual se calculó el consumo.

$$\text{PH (kg MO d}^{-1}\text{)} = \frac{\text{óxido de cromo consumido (g d}^{-1}\text{)}}{\text{óxido de cromo en heces (g kg}^{-1}\text{ MO)}}$$

Donde:

C= consumo kg MO vaca⁻¹ d⁻¹

PH= producción de heces en kg⁻¹ MO d⁻¹

Para estimar el consumo (C) se realizó la determinación de la digestibilidad *in vitro* (Tilley y Terry ,1963) de la dieta que los animales consumieron por PE. Esta dieta se realizó tomando cantidades proporcionales de los ingredientes en relación al total de la dieta que los animales consumieron en cada PE para cada experimento mediante la fórmula :

$$C = \frac{F}{1-D}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Donde:

F= materia orgánica en heces, kg d⁻¹

D= digestibilidad de la dieta, g kg⁻¹ MO

El liquido ruminal se obtuvo de un ovino fistulado, alimentado con concentrado y forraje en proporciones similares a las de los animales experimentales. La toma del liquido se realizó por la mañana y se transportó en condiciones de anaerobiosis y de temperatura adecuadas, para evitar la pérdida de

microorganismos. El tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y la llegada al laboratorio no excedió de 30 minutos. Posteriormente, se realizaron los preparativos para realizar la inoculación de las muestras con el líquido ruminal de acuerdo con la metodología establecida en el laboratorio de nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

El cálculo del contenido energético de los ingredientes de la dieta para cada experimento se realizó a partir de las fórmulas del cuadro 3.

Cuadro 3. Fórmulas para calcular el contenido energético de los alimentos

Ingrediente	Fórmula	Referencia
Concentrado comercial y Alimento con óxido de cromo	$EM (MJ\ kg^{-1}\ MO) = 14.94 - 0.0101 (FDA)^* - 0.0154 (cenizas)$	Menke y Steingass (1988)
Ensilado de maíz	$EM (MJ\ kg^{-1}\ MO) = 0.05 + 0.14 * (DIV)$	Menke y Steingass (1988)
Pradera	$EM (MJ\ kg^{-1}\ MO) = 13.65 - 0.0097 (FDA)$	Menke y Steingass (1988)

* FDA= Fibra detergente ácido
 DIV= Digestibilidad *in vitro*

5.4 Mediciones en los animales

Los rendimientos de leche (kg vaca d⁻¹) se registraron en cada ordeña con una báscula de reloj con capacidad de 20 kg.

Los animales se pesaron al inicio y al final de cada periodo, en una báscula electrónica con capacidad para 1500 kg sólo en el experimento SEM, debido a que en el experimento suplementación con concentrados (SC) una descompostura de la báscula no permitió el pesaje de los animales.

Durante el pesaje de los animales se estimó la condición corporal, de acuerdo con la técnica descrita por el East of Scotland College of Agriculture (ESCA) (1976). La técnica se basa en la estimación por palpación de la cantidad de grasa subcutánea de la región periférica del maslo de la cola y sobre las apófisis transversas de las vértebras lumbares, utilizando una escala del 0 al 5 de acuerdo con la siguiente interpretación:

0 Muy Flaco, 1 Flaco, 2 Moderado, 3 Bueno, 4 Gordo, 5 Obeso

Antes del inicio del experimento las vacas estuvieron bajo un manejo de alimentación similar al del experimento SEM, por lo que se consideró adecuado sólo dos semanas de acostumbramiento a las dietas experimentales.

5.5 Experimento 1. Suplementación con ensilado de maíz (SEM)

El objetivo de este experimento fue evaluar diferentes niveles de inclusión de ensilado de maíz en la dieta de vacas, cuya base principal de alimentación es el pastoreo de praderas cultivadas.

Diseño experimental

Se utilizaron seis vacas Holstein de peso vivo promedio de 473, kg entre 1º y 3º parto.

Las vacas fueron asignadas al azar a tres tratamientos (3, 6 y 9 kg/MS de ensilado de maíz: SEM-3, SEM-6 y SEM-9, respectivamente) en un arreglo de cuadro latino 3 X 3 repetido dos veces, con periodos experimentales de tres semanas, considerando dos semanas de adaptación a las dietas y la última semana para la toma de muestras de heces para determinar el consumo y composición química de los alimentos.

Para el experimento SEM, se sustituyó una de las vacas por problemas de indigestión y baja producción. Las fechas de parto para este experimento cayeron entre el 17 de octubre de 1999 y el 16 de noviembre (fecha promedio: 01 de noviembre de 1999), y para el cuadro repetido, las pariciones cayeron entre el 5 de febrero y el 16 de marzo del año 2000 (fecha promedio: 25 de febrero de 2000).

En el cuadro 4 se muestran las vacas dentro de cuadro, así como los tratamientos los cuales fueron asignados de manera aleatoria.

Cuadro 4. Asignación de tratamientos y vacas dentro de cuadro del experimento suplementación con ensilado de maíz

Periodo	1	2	3	Periodo	1	2	3
vaca #				vaca #			
177	A	C	B	284	B	C	A
122	C	B	A	285	A	B	C
123	B	A	C	182	C	A	B

El experimento SEM inició el 10 de abril y finalizó el 11 de junio de 2000 (9 semanas).

El análisis de los datos se realizó con el promedio de los rendimientos de leche de la última semana; utilizando el programa estadístico MINITAB.

El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza de acuerdo al siguiente modelo (Arriaga-Jordán y Holmes, 1986):

$$Y_{ijkl} = M + C_i + V(i)_j + P_k + T_l + e_{ijkl}$$

Donde:

M= media general

C_i= efecto de cuadro, i=1,2

V_(i)_j = efecto de la vaca dentro de cuadro, ij = 1,2,3

P_k= efecto debido al periodo experimental, k = 1,2,3

T_l= efecto debido a tratamiento, l= 1,2,3

e_{ijkl}= error experimental

Cuando se encontraron diferencias significativas, se realizó la prueba de Tukey para la comparación entre medias.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

El esquema para el análisis de varianza fue:

Fuente de Variación	Grados de libertad
Cuadros	1 (c-1)
Vacas dentro de cuadro	4 (v-1)s
Periodo	2 (p-1)
Tratamientos	2 (t-1)
Error experimental	8 (t-1) (ct-2)
Total	17 (ct ² -1)

5.6 Experimento 2. Suplementación con concentrados (SC)

Época de lluvias (verano-otoño)

El objetivo de este experimento fue la evaluación del potencial de pastoreo en la época de mayor producción de forrajes y la respuesta a la suplementación con diferentes niveles de concentrados (Malta 16% PC). Los tratamientos consistieron en proporcionar 1, 3 y 6 kg de concentrado por vaca/día (SC-1, SC-3 y SC-6 respectivamente). Las cantidades de concentrados incluidos en las dietas se encuentran dentro del intervalo de nivel de suplementación que llevan a cabo los productores de leche en pequeña escala para esta época del año.

Para este experimento se utilizaron las mismas vacas experimentales de los grupos 1 y 2 del experimento anterior, lo cual significa que los animales se encontraban a principios del tercer y segundo tercios de lactación, respectivamente, por lo que ya estaban adaptados a las condiciones experimentales de manejo y de alimentación.

Las vacas se asignaron al azar a los tres tratamientos en un arreglo de cuadro latino 3 X 3, repetido dos veces, con periodos experimentales de tres semanas, considerando dos semanas de adaptación a las dietas y la última semana para la medición de las variables a analizar: producción de leche, composición de leche, consumo de forraje en pastoreo, óxido de cromo en heces, peso y condición corporal

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El inicio del experimento fue el 26 de junio y finalizó el 27 de agosto del 2000. El sistema de manejo de la alimentación, el pastoreo y las mediciones en los animales y en la pradera se realizaron de la misma manera descrita en el Experimento 1.

Los tratamientos del experimento de suplementación con concentrados fueron: SC-1.0 kg , SC- 3.0 kg y SC- 6.0 kg

En el cuadro 5, se observan las vacas dentro de cuadro, así como también la asignación de los tratamientos la cual fue realizada de manera aleatoria.

Cuadro 5. Asignación de tratamientos y vacas dentro de cuadro del experimento suplementación con concentrados

Periodo	1	2	3	Periodo	1	2	3
Vaca #				Vaca #			
122	C	A	B	182	B	A	C
177	A	B	C	284	C	B	A
123	B	C	A	285	A	C	B

El pastoreo se llevó a cabo de las 7:00 a las 18:00 h. Posteriormente, las vacas regresaron al establo para ser ordeñadas y recibir los tratamientos.

Para el análisis de los datos se utilizó el promedio de la última semana. Los datos se sometieron a un análisis de varianza, de acuerdo con el siguiente modelo (Arriaga-Jordán y Holmes, 1986):

$$Y_{ijkl} = M + C_i + V_{(i)j} + P_k + T_l + e_{ijkl}$$

Donde:

M = media general

C_i = efecto de los cuadros, $i=1,2$

V = efecto debido a vaca dentro de cuadros, $ij = 1,2,3$

P_k = efecto debido al periodo experimental, $k = 1,2,3$

T_l = efecto debido a tratamiento, $l = 1,2,3$

e = error experimental

5.7 Análisis económico

El análisis económico se realizó considerando únicamente los costos de alimentación. A continuación se presentan los costos de establecimiento, de praderas.

Cuadro 6 Costos de establecimiento de praderas perennes asociadas de ballicos (*Lolium perenne* y *L. multiflorum*) con trébol blanco (*Trifolium repens*)

Preparación del terreno	Cantidad	unidad	costo/unidad	Costo total
Barbecho	1 00	ha	\$ 450 00	\$ 450 00
Rastra	1 00	ha	\$ 200 00	\$ 200 00
Cruza de rastra	1 00	ha	\$ 200 00	\$ 200 00
Subtotal preparación terreno	1 00	ha		\$ 850 00
Insumos				
Semilla de ballico perenne (25 kg/ha)	25 00	kg	\$ 32 50	\$ 812 00
Semilla de ballico anual (10 kg/ha)	10 00	kg	\$ 15 00	\$ 150 00
Semilla de trébol (4 kg/ha)	4 00	kg	\$ 72 00	\$ 288 00
Subtotal semilla				\$ 1 250 00
Abonos y fertilizante				
Estiércol	30 00	ton	\$ 10 00	\$ 300 00
Fertilizante 40-40-25				
Urea	2	bultos	\$ 83 40	\$ 166 90
Súper fosfato de calcio triple	2	bultos	\$ 106 00	\$ 212 00
Cloruro de potasio	2	bultos	\$ 105 00	\$ 210 00
Subtotal fertilizantes				\$ 888 90
Riego				
Agua para riego	2	riego	\$ 200 00	\$ 400 00
Subtotal insumos				\$ 2,988 00
Mano de obra				
Contratada o familiar	5	jornal	\$ 30 00	\$ 150 00
Familiar (incluida en atención del hato)	0	jornal	\$ 30 00	\$ 0 00
Total mano de obra				\$ 150 00
Transporte				
Abono	1	viaje	\$ 10 00	\$ 10 00
Otros				\$ 0 00
Subtotal transporte				\$ 10 00
Total costos de establecimiento	1.00	ha		\$ 3,148.00

El costo de cada kg de MS de pradera, se calculó dividiendo los kilogramos totales de pradera obtenidos por unidad de superficie entre los costos totales de producción, a lo largo de un ciclo productivo (un año), se considera, en el caso de la pradera un costo de establecimiento y amortización (se estiman 5 años de vida productiva de la pradera) (cuadro 7). Una vez calculado el costo de cada kg de

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MO de pradera, se multiplicó por el total de kilogramos de MO consumidos en cada uno de los tratamientos.

Cuadro 7. Costos de mantenimiento de praderas perennes asociadas de ballicos (*Lolium perenne* y *L. multiflorum*) con trébol blanco (*Trifolium repens*)

Costos de mantenimiento / año	cantidad	unidad	Costo/unidad	costo total
Amortización de Costos de Establecimiento (5 años)	1 00	ha	\$ 629 08	\$ 629 80
Fertilizantes 437-102-100 (kg) N-P-K	17 50	Bultos		\$ 1,636 00
Riego	10 00	Riego	\$ 200 00	\$ 2,000 00
Transporte Abono	10.00	Viaje	\$ 10.00	\$ 100.00
Total costos de mantenimiento	1.00	Ha		\$ 4,365.40

En el cuadro 8 se presentan los costos de establecimiento de 1.0 ha de maíz para ensilar. Para efectos de este experimento se rentó 1.0 ha de terreno. La totalidad de los insumos, así como la mano de obra, fueron pagados al precio vigente en la comunidad en dicho periodo de tiempo.

Cuadro 8. Costos de establecimiento de cultivo de maíz para ensilar

Costos de establecimiento y mantenimiento	Cantidad	Unidad	costo/unidad	costo total
Estiércol y Abonado	30 00	Ton	\$ 10 00	\$ 300 00
Renta de terreno de cultivo	1 00	ha	\$ 2,000 00	\$ 2 000 00
Barbecho	1 00	ha	\$ 450 00	\$ 450 00
Rastra	1 00	ha	\$ 200 00	\$ 200 00
Siembra	1 00	ha	\$ 200 00	\$ 200 00
Riego	1 00	ha	\$ 150 00	\$ 150 00
Regador (2 jornales)	1 00	ha	\$ 100 00	\$ 100 00
Urea	1 00	bultos	\$ 83 40	\$ 83 40
Súper fosfato triple (kg)	200 00	kg	\$ 212 00	\$ 212 00
Semilla	25 00	kg	\$ 6 00	\$ 150 00
Mantenimiento				
Herbicida	1 00	Lt	\$ 136 00	\$ 136 00
Urea (con subsidio)	5 00	Bultos	\$ 64 10	\$ 320 50
Súper fosfato de Calcio Triple	2 00	Bultos	\$ 106 00	\$ 212 00
Escarda y segunda	1 00	ha	\$ 400 00	\$ 400 00
Otros				
Mano de obra Contratada o Familiar	6 00	Jornal	\$ 50 00	\$ 300 00
Total transporte de insumos	1.00	Viaje	\$ 10.00	\$ 20.00
Total costos de establecimiento	1.00	ha		\$ 5,222.00

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

En el cuadro 9 se presentan los costos por concepto de proceso de ensilaje. Para tal proceso, se rentó la maquinaria necesaria y se contrató la mano de obra necesaria.

Cuadro 9. Costo de proceso de ensilaje de maíz

	Cantidad	Unidad	costo / unidad	costo total
Costos de maquinaria				
Ensiladora	1	día	\$ 600 00	\$ 600 00
Tractor con remolque	2	día	\$ 600 00	\$ 1,200 00
Proceso de ensilaje				
Corte de maíz	5	jornales	\$ 70 00	\$ 350 00
Acarreo y alimentar ensiladora	8	jornales	\$ 70 00	\$ 560 00
Descargar y acomodar	2	jornales	\$ 70 00	\$ 140 00
Insumos				
Plástico	10	kg	\$ 17,40	\$ 174,00
Total costos	1.0	ha		\$ 4,365,40

Se estimó un rendimiento de 10 toneladas de MS de ensilado de maíz, el cual fue dividido entre los costos totales de establecimiento y proceso de ensilaje, para obtener el costo de un kilogramo de ensilado. Posteriormente, para obtener el costo de ensilado para cada tratamiento se multiplicó el costo por kg de ensilado de maíz por el total consumido en cada tratamiento.

6. Resultados y Discusión

6.1 Experimento suplementación con ensilado de maíz

6.1.1 Condiciones meteorológicas

Temperaturas

En la figura 1 se observan las temperaturas registradas durante la realización del experimento Suplementación con Ensilado de Maíz (SEM), y para cada uno de los periodos experimentales (PE. 1 - 3) (del 10 de abril al 11 de junio). Cada PE tuvo una duración de 21 días. Las temperaturas que se presentaron durante la realización del experimento SEM fueron: máximas, 24.3°C , mínimas, 6.2°C y promedio, 15.3°C .

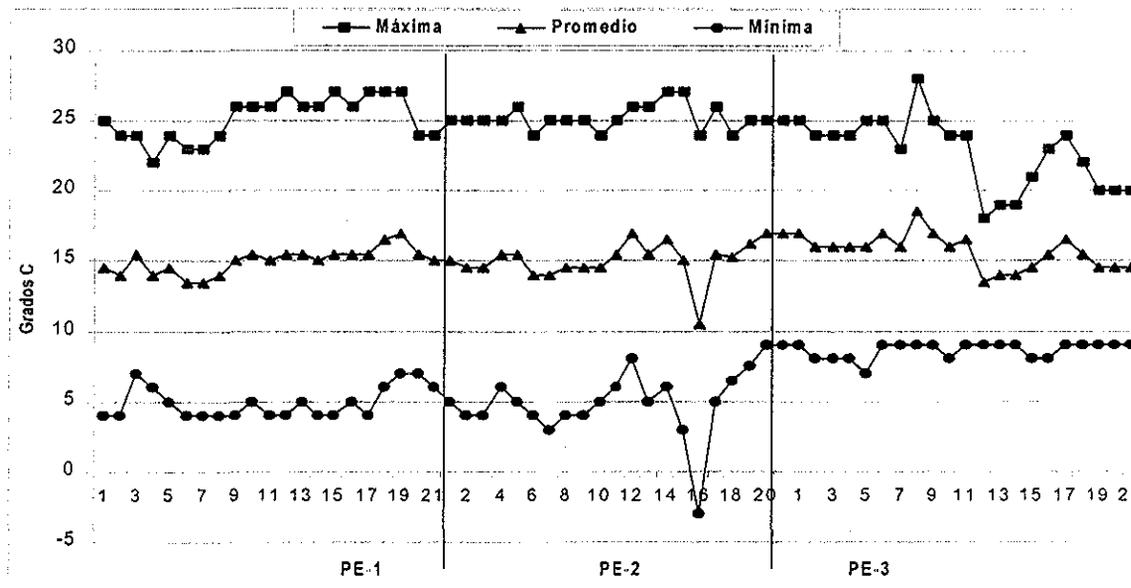


Figura 1. Temperaturas máximas, mínimas y promedio diarias durante el experimento SEM

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Precipitación

En la figura 2 se observa la precipitación registrada durante el experimento SEM. Cada punto en la figura corresponde a la precipitación diaria (mm de lluvia) registrada para cada PE.

Las condiciones climatológicas durante el PE-1 fueron difíciles debido al periodo de sequía que se presentó en este periodo (10 al 31 de abril), afectando la ANF para este PE en particular, y para el experimento SEM en general (Cuadro 7). La precipitación total para el experimento fue de 151.0 mm de lluvia, de los cuales el 75% cayó durante el PE-3.

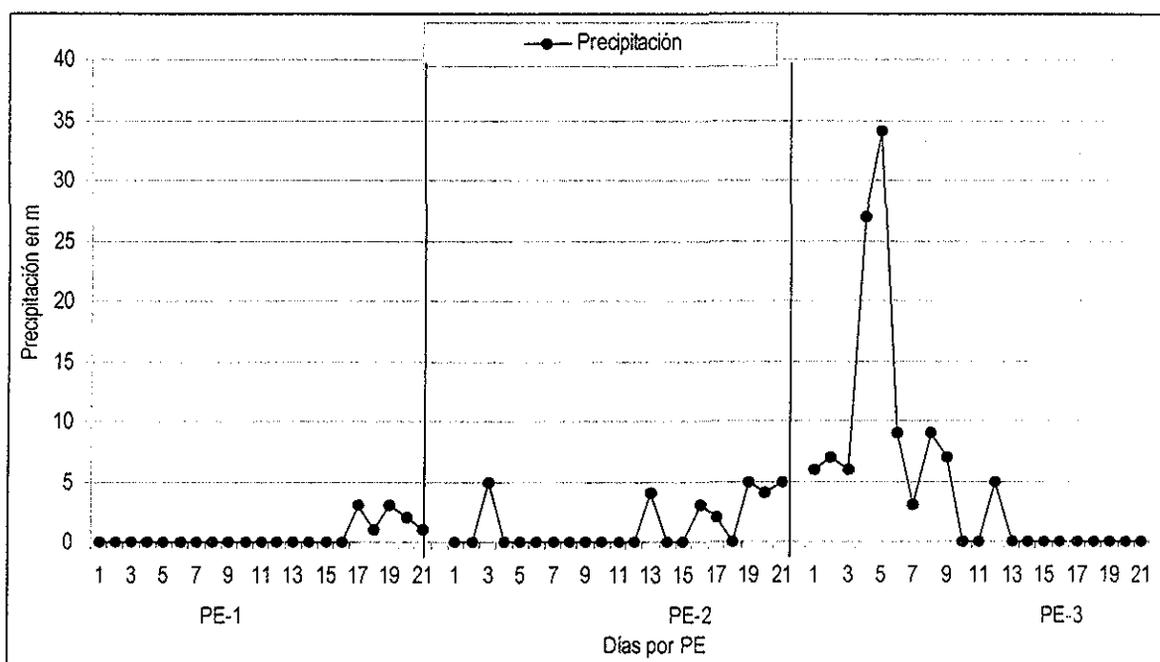


Figura 2. Precipitación pluvial (mm lluvia d⁻¹) durante el experimento SEM

6.1.2 Acumulación neta de forraje

La acumulación neta de forraje (ANF) para el experimento SEM fue de 2470.2 kg de MO, con un distribución heterogénea a lo largo del experimento. En el Cuadro 10 se presenta la ANF en kg de MO ha⁻¹ para cada PE y la acumulación por día.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuadro 10. Acumulación neta de forraje (ANF, kg MO ha⁻¹) por periodo experimental (PE)

Periodos	Experimento SEM		
	PE-1	PE-2	PE-3
ANF total	173.50	1423.90	872.00
ANF por día	8.30	67.80	41.60

Como ya se mencionó, la sequía que se presentó en el PE-1 afectó de manera importante la ANF, siendo esta sólo de 8.3 kg de MO ha⁻¹ d⁻¹, mientras que en el PE-2 y el PE-3 la ANF fue mayor a la demanda de forraje por las vacas (28 kg MO d⁻¹), de acuerdo con el consumo estimado de pradera para los animales. En general, se observa que en el PE-2 la ANF fue mayor respecto del PE-1 y PE-3.

La diferencia entre los PE-2 y PE-3, si se toma en cuenta que no hubo restricciones en el crecimiento por el factor clima, se atribuye directamente al efecto de la fertilización nitrogenada aplicada el día 26 de abril (últimos cuatro días del PE-1), por lo que el efecto de la fertilización se manifestó en el PE-2. En el PE-3, de acuerdo con el manejo de la fertilización (cada 30 días), no hubo fertilización nitrogenada. Por lo tanto, el incremento en la ANF para el PE-2 se atribuye al efecto del nitrógeno. Esta respuesta se observa gráficamente en la figura 3, donde se aprecia que a mediados de este periodo la altura se incrementó ligeramente; este hecho se hace más patente al observar la diferencia en ANF para periodos (Cuadro 10).

Resulta confuso relacionar la ANF por día del PE-3 con la altura de la pradera que se observa en la figura 3. De acuerdo con las fórmulas de regresión lineal de altura contra masa herbácea (MH), se observa una relación negativa. Este hecho se discutirá en la sección correspondiente.

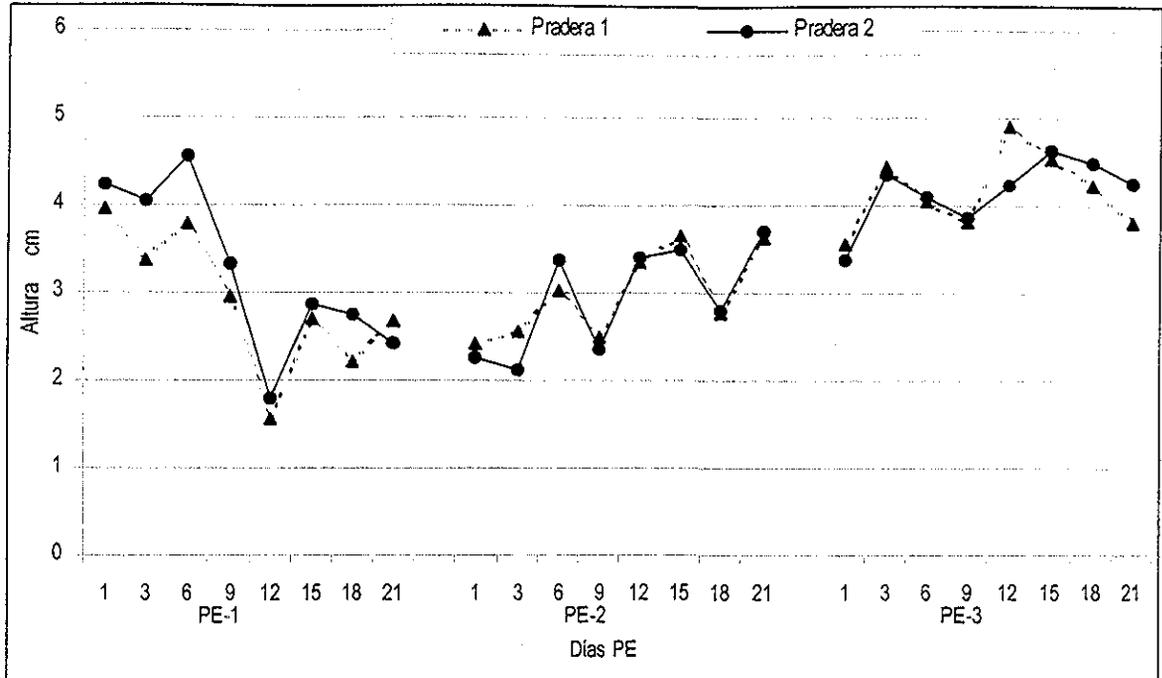


Figura 3. Altura de las praderas durante el experimento SEM

En el Cuadro 11 se presenta el forraje producido y el forraje consumido durante el experimento, así como el índice de eficiencia de utilización del forraje.

Cuadro 11. Eficiencia de utilización de pradera para el experimentos suplementación con ensilado de maíz (SEM)

	kg MO ha ⁻¹
Forraje producido	2470.20
Forraje consumido	1419.60
Eficiencia de utilización (%)	57.00

El calculo de eficiencia de utilización de la pradera se realizó promediando los consumos de pradera para cada tratamiento y multiplicandolo por los días de duración del experimento.

Al respecto, Améndola y Sánchez (1999) indican que la evaluación del impacto de la suplementación debe realizarse bajo condiciones de alta eficiencia de utilización de forraje de la pradera, condición que se cumple para este experimento. En el Cuadro 11 se observa que la eficiencia de utilización del forraje para este experimento fue de 57%. Esta eficiencia resultó baja respecto de lo reportado por

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Mayne *et al.* (2000), bajo condiciones de baja disponibilidad de forraje por unidad animal.

6.1.3 Altura de las praderas

La figura 3 presenta la altura de las praderas I y II a lo largo del experimento. Cada punto en la figura corresponde a una medición de altura realizada cada tercer día, en cada PE.

La altura promedio de las praderas I y II a lo largo del experimento SEM fue de 3.3 y 3.4 cm, respectivamente. La altura promedio de las praderas al inicio del experimento fue de 4.0 cm y la altura promedio final fue de 4.1 cm

Para finales del PE-1 la altura de las praderas I y II disminuyó drásticamente a 1.5 y 1.8 cm respectivamente, debido a la sequía que se presentó en este periodo. Para principios del PE-2, y como respuesta al riego y a la fertilización realizados en los últimos cuatro días del PE-1, la altura de las praderas se incrementó progresivamente para terminar en 4.1 cm (PE-3).

De acuerdo con Alcock *et al.* (1985), la máxima respuesta en producción de forraje e incremento de altura se da entre 15 y 20 días después de la fertilización con N, situación que ocurrió en este experimento, pues al día 10 del PE-2 se presentó un ligero incremento en la altura de las praderas, como respuesta a la aplicación de nitrógeno, aunque de manera importante también influyeron el riego y la lluvia que se presentó a principios de este periodo.

Respecto a lo anterior, Hodgson (1994) argumenta que existen tres fases de crecimiento para este tipo de forrajes: fase inicial de acumulación gradual, fase de acumulación acelerada y fase en la cual la proporción de acumulación declina a cero (forraje producido menos forraje muerto o envejecido). Por lo tanto, afirma que, para obtener una producción máxima de forraje, las praderas se deben mantener, tanto como sea posible, en la fase de acumulación acelerada. De acuerdo con los argumentos de este mismo autor, la fase de acumulación

acelerada se da cuando el índice de área foliar (IAF) es de 2-3, lo cual corresponde a una altura de entre 3.0 y 5.0 cm.

Hodgson (1994) define el IAF como el área de superficie de la lámina de la hoja (medida sólo por un lado) por unidad de área de suelo. Si se considera que la cantidad de luz captada está en función de la cantidad de hojas de un pasto, entonces a mayor IAF, mayor producción de forraje en una pradera.

Por lo anterior, se considera que las praderas estuvieron dentro del límite inferior de la fase de crecimiento acelerado (excepto en el PE-1) (Hodgson, 1994). Esto se observa gráficamente en la (figura 3), que muestra que después de que la altura cae drásticamente por las condiciones de sequía (PE-1), se presenta una fase de crecimiento acelerado como respuesta al riego y fertilización nitrogenada, lo cual explica la ANF para el PE-2 y el PE-3 (Cuadro 10).

6.1.4 Composición de los alimentos

Ensilado de maíz

En el Cuadro 12 se muestra la composición química del ensilado de maíz. Se observan diferencias en cuanto a su composición para cada PE, debido a que se utilizaron tres diferentes ensilados a lo largo del experimento. La razón de lo anterior se debe a que el ensilado fue insuficiente para cubrir todo el experimento. No obstante las importantes diferencias en cuanto a composición química, estas tuvieron un efecto importante respecto de los consumos individuales en los periodos experimentales (cuadro 16).

El contenido de MO kg de ensilado de maíz varió en los periodos experimentales. De la misma manera, el contenido de PC tuvo una ligera variación entre periodos, siendo esta de 4 g kg⁻¹ entre el valor máximo y el valor mínimo.

Cuadro 12. Composición química del ensilado de maíz

g kg Materia Seca	Periodos Experimentales		
	PE-1	PE-2	PE-3
Materia seca	300 40	312 20	348 90
Materia orgánica	277 50	290 50	341 30
Proteína cruda	78 40	82 40	79 00
Fibra neutro detergente	719 10	716 80	658 90
Fibra ácido detergente	454 80	487 90	458 80
Digestibilidad (g kg ⁻¹ MO)	641 00	672 00	738 00
Energía Metabolizable (MJ kg MO)	9.02	9.46	10.38

Los contenidos de FDN y FDA muestran la misma variabilidad entre periodos y se encuentran elevados con respecto a los resultados presentados por Phipps (1992), quien indica valores de 576 g/kg para FDN y 316 g kg⁻¹ para FDA.

Los valores de digestibilidad determinados para los ensilados de maíz utilizados en este experimento son similares a los referidos por autores, como Hameleers (1998), O'Mara *et al.* (1998) y Phipps (1992). El mayor valor de digestibilidad se registró en el PE-3.

Pradera

En el Cuadro 13 se muestra la composición química de la pradera para los periodos experimentales, donde se observa que el contenido de MO en el PE-1 fue superior al contenido de MO en los PE-2 y PE-3. Esto se debió probablemente a las condiciones de sequía que se presentaron en ese periodo, como se observa en la figura 2. Para los PE-2 y PE-3 el contenido de MO fue adecuado (Hodgson, 1994).

Cuadro 13. Composición química de la pradera

g kg Materia Seca	PE-1	PE-2	PE-3
Materia seca	451 60	291 50	306 30
Materia orgánica	384 90	252 90	238 40
Proteína cruda	108 10	240 00	143 80
Fibra neutro detergente	589 20	569 20	569 30
Fibra ácido detergente	360 40	351 60	397 40
Digestibilidad (g kg ⁻¹ MO)	674 80	730 40	659 70
Energía Metabolizable (MJ kg ⁻¹ MS)	10.10	10.20	9.80

El contenido de PC presentó variaciones, siendo PE-1, donde se presentó el valor más bajo, mientras que en el PE-2 el valor de PC fue el más alto, debido probablemente al efecto del riego y fertilización. El PE-3 muestra valores promedio similares a los indicados por Hodgson (1994).

Los contenidos de FDN fueron similares, mientras que para FDA el resultado para el PE-3 difiere de los periodos anteriores. La digestibilidad fue mayor para el PE-2, lo que pudo estar relacionado con el mayor contenido de PC para este periodo.

Alimento comercial y alimento con óxido de cromo

El contenido de PC para el alimento comercial presentó variaciones mínimas entre periodos, mientras que los valores de FDN y FDA presentaron una mayor variación entre periodos experimentales (Cuadro 14).

El alimento utilizado como vehículo del óxido de cromo presentó un contenido de PC menos homogéneo en comparación con el alimento comercial. El contenido de FDN y FDA se mantuvo estable a lo largo de los periodos (Cuadro 14).

El contenido de óxido de cromo (Cr₂O₃) g kg⁻¹ MO de alimento resultó ser menor a lo que se tenía estimado. La determinación del cromo mediante espectrofotometría de absorción atómica indicó contenidos del marcador inferiores a lo planeado. No obstante, las cantidades determinadas por kg de alimento fueron suficientes para estimar el consumo de los animales experimentales.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuadro 14. Composición química del alimento comercial y alimento con Cr₂O₃

	Periodos Experimentales		
	PE-1	PE-2	PE-3
Alimento comercial g kg			
Materia seca	91.80	92.30	92.00
Materia orgánica	80.80	84.40	83.00
Proteína cruda	151.00	148.10	146.30
Fibra neutro detergente	317.10	339.20	304.50
Fibra ácido detergente	117.00	130.00	115.60
EM (MJ kg ⁻¹ MS)	11.00	12.00	10.70
Alimento con Cr ₂ O ₃ g kg ⁻¹ MO			
Cr ₂ O ₃ g kg ⁻¹ MO	2.30	2.10	1.80
Materia seca	92.3	92.0	91.2
Materia orgánica	88.4	88.0	87.4
Proteína cruda	153.8	161.2	165.0
Fibra neutro detergente	396.3	270.8	342.9
Fibra ácido detergente	81.6	84.5	77.6
EM (MJ kg ⁻¹ MS)	12.8	12.8	12.8

6.1.5 Consumo de alimento

Determinación de consumo voluntario

El consumo voluntario estimado a partir de la producción de heces mediante la utilización de Cr₂O₃ para los dos experimentos fue bajo; además, no correspondió a los rendimientos de leche, peso vivo y condición corporal alcanzados por los animales durante la realización de los experimentos (cuadros 15 y 25).

Dados los bajos consumos determinados a partir de cromo, se recurrió a la utilización de las fórmulas propuestas por el Agricultural and Food Research Council (AFRC) (1993), para poder calcular el consumo voluntario, que permitiera explicar de mejor manera los rendimientos de los animales y de esta forma establecer la contribución de cada uno de los ingredientes de la dieta a las necesidades de consumo de MS, EM (MJ vaca día) y PM (g/kg vaca día).

La fórmula es:

$$\text{CMS (kg día)} = 0.076 + 0.404 C + 0.013 W - 0.129 n + 4.12 \log_{10}(n) + 0.14 Y$$

donde:

CMS = consumo de materia seca

C = kg de MS d⁻¹ de alimento concentrado

W = peso vivo kg

n = semana de lactación

Y = rendimientos de leche kg día

El consumo promedio total determinado a partir de la producción de heces (mediante óxido de cromo), expresado en kg de MO vaca⁻¹ d⁻¹, fue: 8.4, 9.3 y 9.1 para los tratamientos SEM-3, SEM-6 y SEM-9 kg/MS, respectivamente (cuadro 15). De acuerdo con lo anterior, el efecto de los tratamientos sobre el consumo total (Cr₂O₃) no fue estadísticamente significativo (P > 0.05) (anexo 1).

Cuadro 15. Consumo promedio por vaca d⁻¹ de alimentos ofrecidos en los diferentes tratamientos experimentos del experimento SEM

Consumo (kg MO d ⁻¹)	Tratamientos			
	SEM-3	SEM-6	SEM-9	EEM
Ensilado de maíz	2.5 ^a	4.8 ^b	6.5 ^c	0.5
Concentrado	2.5	2.5	2.5	
Pradera	7.7 ^a	5.5 ^b	3.7 ^c	0.5
Consumo total (AFRC, 1993)	12.7	12.8	12.7	
Consumo total (Cr ₂ O ₃)	8.3 ^a	9.3 ^a	9.1 ^a	0.5

Valores con diferente superíndice en hileras indican diferencia estadística (P < 0.05)

Ahora bien, en función del consumo estimado (AFRC, 1993) y las mediciones de consumo de ensilado de maíz, en el cuadro 15 se observa que existieron diferencias estadísticas significativas para los consumos de ensilado de maíz y de pradera (P < 0.05) (anexos 2 y 3). Al incrementarse el consumo de ensilado de maíz, disminuyó el consumo de pradera. El efecto substitutivo fue de - 1.0 kg de MO d⁻¹ de pradera por cada kg de MO de ensilado de maíz consumido. El consumo de pradera se calculó, restando la cantidad de concentrado y de ensilado de maíz consumido del consumo total calculado a partir de fórmulas del AFRC (1993) para cada tratamiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En cuanto a los periodos experimentales, existieron diferencias estadísticamente significativas para los consumos totales determinados $Cr_2 O_3$ ($P < 0.05$) (Cuadro 16, anexo 1). Las diferencias para los consumos de ensilado de maíz y pradera no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$), estimados los consumos a partir de fórmulas.

Cuadro 16. Consumo promedio por vaca d^{-1} de alimentos ofrecidos por PE del experimento SEM

Consumo (kg MO d^{-1})	Periodos experimentales			
	PE-1	PE-2	PE-3	EEM
Ensilado de maíz	4.9 ^a	4.2 ^a	4.6 ^a	0.5
Concentrado	2.4	2.5	2.5	
Pradera	5.3 ^a	6.1 ^a	5.6 ^a	0.5
Consumo total (AFRC, 1993)	12.6	12.8	12.7	
Consumo total ($Cr_2 O_3$)	9.0 ^{a,b}	8.0 ^a	9.7 ^b	0.3

Valores con diferente superíndice en hileras, indican diferencia estadística ($P < 0.05$)

El consumo total determinado con $Cr_2 O_3$ fue 30 % menor al estimado mediante la fórmula sugerida por el AFRC (1993).

Al respecto de la utilización del $Cr_2 O_3$ para la determinación del consumo voluntario a partir de la producción de heces, Brisson (1960) menciona que la precisión con la cual se puede predecir la producción de heces depende principalmente de tres factores: a) la medición de la cantidad de cromo administrado y de la concentración de éste en la heces, b) la recuperación cuantitativa del cromo en heces y, c) la toma adecuada de muestras de heces, de tal forma que se forme una mezcla representativa de heces excretadas durante el periodo de colección para su posterior análisis.

A este respecto, Malossini y colaboradores (1995) indican que este método es el más común para la determinación de consumo; sin embargo, la aplicación de esta técnica junto con la de digestibilidad *in vitro* de forrajes de la dieta no puede eliminar algunas fuentes de error, relacionadas con problemas en la recuperación del marcador, así como en la estimación de valores adecuados de la digestibilidad

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

de los forrajes consumidos por los animales experimentales; consumo que pueden variar entre animales de acuerdo con la relación forraje/concentrado.

Existe una variación en la excreción de cromo en heces (Reid y Kennedy, 1956), debido, entre otros factores, a la frecuencia de administración del marcador. Para evitar fluctuaciones en el patrón de excreción se recomienda administrar el marcador dos veces al día. Además, Pigden y Brisson (1956) reportaron que no existen ventajas en administrar más de dos veces al día el marcador.

Para la toma de muestras de heces se recomienda hacer dos muestreos al día por periodos de siete o más días; de esta forma se han obtenido resultados satisfactorios en comparación con el método de colección total de heces (Hardison y Reid, 1953; Smith y Reid, 1955).

En este experimento la administración del marcador, así como el muestreo de heces, se realizó de acuerdo con las recomendaciones anteriores.

De igual manera, el proceso de determinación de cromo suministrado a los animales para los periodos experimentales, así como el cromo excretado en heces, se realizó de acuerdo con los procedimientos recomendados por Tejada (1992), pudiendo determinar de manera adecuada la cantidad de marcador contenida tanto en el alimento como en las heces, para efecto de las determinaciones de producción de heces.

En base a los argumentos presentados anteriormente, se descarta un posible error en la administración del marcador, toma de muestras y análisis de laboratorio de los alimentos y las muestras de heces. Pero, existe la posibilidad de una baja recuperación del marcador en heces.

Existen algunos factores que afectan la tasa de excreción del cromo como: la mezcla desigual del marcador con el contenido del retículo-rumen, y la tasa de pasaje de éste a través del tracto digestivo, lo que ocasionaría una variación en el

patrón de excreción y baja recuperación del marcador en heces (Kotb y Luckey, 1972).

La mezcla deficiente del marcador con el alimento está relacionada con cambios en el manejo de la alimentación (Raymond y Minson, 1955), variaciones en el tiempo de ingestión del alimento (Kameoka *et al.*, 1956), tipo de animales (sexo) (Smith y Reid, 1955), así como con cambios en el comportamiento de los animales, particularmente bajo sistemas de pastoreo (Corbett *et al.*, 1969).

Al respecto, Kane *et al.* (1952) mencionan que en vacas lecheras se determinó una mayor excreción de cromo por las mañanas que por las tardes, a diferencia del patrón de excreción en toros bajo el mismo patrón de manejo. Bajo condiciones de pastoreo, las fluctuaciones en la tasa de excreción de cromo se relacionan con factores tales como: grado de uniformidad del forraje, tiempo de pastoreo, etapa de crecimiento de forraje y tipo de plantas (Hardison y Reid, 1953).

Por lo tanto, bajo condiciones de estimación de consumo mediante la utilización de cromo, se sugiere que el sistema de pastoreo sea rotacional con periodos de ocupación no mayores de tres días, ya que de esta forma se puede asegurar cierta uniformidad del forraje (altura, estado de madurez y disponibilidad), por lo que se pueden reducir las variaciones en comportamiento de los animales, disminuyendo de esta forma las variaciones en la tasa de excreción de cromo (Cruicksank *et al.*, 1978).

Por otro lado, existen algunos factores atribuibles al proceso de determinación de la digestibilidad *in vitro* de los ingredientes de la dieta que pudieron haber influido en una subestimación del cálculo del consumo voluntario total. Tales pueden ser: especie del animal donador del líquido ruminal, manejo de la alimentación del animal donador y posiblemente la más importante, la dieta consumida por el animal donador (Weiss, 1994).

Al respecto, se puede mencionar la diferencia entre especies de animal donador y animal "blanco". Existen varios reportes que indican que el efecto de la especie animal como donador de líquido ruminal puede o no influir sobre la digestibilidad de la MS en cuestión (Grant *et al.*, 1974; Horton *et al.*, 1980, citados por Weiss, 1994). Por lo que, para propósitos de investigación se recomienda que el animal donador sea de la misma especie que los animales experimentales (Weiss, 1994).

Otros de los factores que pudieron haber influido en una posible subestimación de la digestibilidad de la dieta son: la dieta consumida por el animal donador y tiempo de colecta de líquido del animal donador posterior a la alimentación. Se recomienda que el animal donador consuma la misma dieta que los animales experimentales. En este caso, el animal donador consumía pasto ryegrass de corte y alimento concentrado; probablemente las proporciones no hayan sido las mismas que las que consumían los animales experimentales. Por otro lado, no se tiene información sobre la frecuencia de alimentación del animal donador. Esto es un punto importante ya que el tiempo óptimo de colecta de líquido ruminal es entre 8 y 12 horas después de la alimentación del animal donador; posterior a este tiempo, los valores de digestibilidad de la MS pueden decrecer. Por lo tanto, se recomienda que se debe alimentar al animal donador tres veces al día (Weiss, 1994).

En los párrafos anteriores se han presentado argumentos que puedan dar una idea de los posibles factores que pudieron haber influido en la subestimación del consumo a partir de la utilización del óxido de cromo como marcador externo de consumo. A continuación, se discutirán las implicaciones de la demanda de forraje en función de los niveles de suplementación y, la contribución de cada uno de los ingredientes al balance de energía y proteína de los animales.

De acuerdo con los niveles de suplementación, la necesidad de kg MS de pradera para poder cubrir los consumos potenciales (de acuerdo a fórmulas) de las vacas (4 vacas ha⁻¹), fue en promedio de 28 kg MO ha⁻¹ d⁻¹ para cada uno de los PE. Por

otro lado, la ANF para los PE-2 y PE-3 fue superior a las necesidades, excepto en el PE-1 donde sólo se acumularon 8.2 (kg MO ha⁻¹ d⁻¹).

Sin embargo, en función de las estimaciones de consumo a partir de fórmulas, se determina que las vacas fueron capaces de consumir el suficiente forraje, que les permitió una producción de leche, la cual se mantuvo estable en los periodos experimentales. Por otro lado, y no obstante que no se detectaron cambios en la condición corporal de las vacas; esta es un punto muy importante que se debe considerar y que da cuenta en parte de que las vacas hayan podido mantener los rendimientos de leche sin cambio.

La explicación de que las vacas hayan podido mantener consumos de pradera estables, particularmente en el PE-1, se debe a que el día de inicio del experimento, la altura promedio de las praderas fue de 4.4 cm (figura 3), con una MH de 1,497.9 kg MS ha⁻¹. Por lo tanto, la MH fue suficiente para que las vacas cubrieran sus necesidades de forraje en la pradera durante el PE-1, amortiguando el efecto de la sequía sobre la acumulación diaria de forraje, no afectándose el consumo de MO de las vacas. Esto puede corroborarse con la disminución progresiva de la altura de las praderas (forraje removido diariamente) desde el inicio del PE-1 y hasta finales de éste (figura 3).

En el Cuadro 17 se observan los consumos determinados (Cr₂ O₃) y estimados (fórmulas AFRC,1993) para tratamientos y para periodos, así como el aporte de EM y PM de los ingredientes de la dieta.

Cuadro 17. Contribución de los ingredientes de la dieta a las necesidades de consumo de MO y EM

		Tratamientos			Periodos		
		SEM-3	SEM-6	SEM-9	PE-1	PE-2	PE-3
Aporte kg MO d ⁻¹	Concentrado	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5
	E maíz	2.5	4.8	6.5	4.9	4.2	4.6
	Pradera	7.7	5.5	3.7	5.3	6.1	5.6
Necesidades de Consumo Estimado* (kg MO d ⁻¹)		12.7	12.8	12.7	12.6	12.8	12.7
Consumo Determinado + (kg MO d ⁻¹)		8.3	9.3	9.1	9.0	8.0	9.7
Balance		-4.4	-3.5	-3.6	-3.0	-4.8	-3.0
•Energía Metabolizable (MJ vaca ⁻¹ d ⁻¹)							
Aporte	Concentrado	31.2	31.2	31.2	29.7	31.2	31.2
	E maíz	24.0	46.1	62.5	44.2	39.8	47.7
	Pradera	77.4	55.3	37.2	53.8	62.4	54.8
EM a partir de la Dieta (MJ vaca ⁻¹ d ⁻¹)		132.7	132.7	129.9	127.7	133.4	133.7
Necesidades Estimadas * EM (MJ vaca ⁻¹ d ⁻¹)		125.0	126.3	124.8	124.8	127.1	124.7
Balance EM MJ d ⁻¹		+7.7	+6.4	+6.1	+2.9	+6.2	+9.1
•Proteína Metabolizable (PM) (g d ⁻¹)							
Aporte	Concentrado	253.2	253.2	253.2	238.1	243.2	240.3
	E maíz	90.3	173.4	234.8	173.0	157.4	163.8
	Pradera	751.0	536.5	360.9	337.4	937.0	485.1
PM a partir de la Dieta		1094.5	963.1	848.9	748.5	1337.6	889.2
Necesidades estimadas* PM (g d ⁻¹)		1260.7	1279.4	1271.8	1263.4	1263.4	1042.9
Balance PM g d ⁻¹		-166.1	-316.3	-422.9	-515.0	-74.3	-153.8

+ A partir del Cr₂O₃

* A partir de fórmulas AFRC (1993)

• Basado en consumos estimados

Debido a que se conocen los consumos de ensilado de maíz y concentrado (kg/MS/vaca/d) para tratamientos y periodos experimentales, se puede determinar por diferencia el consumo de pradera y de esta manera establecer el aporte de energía y proteína de cada uno de los ingredientes de la dieta.

Existió un ligero balance energético positivo para periodos y tratamientos. Teóricamente esto indicaría que las vacas debieron aumentar la producción de leche o al menos, su peso o condición corporal; sin embargo, esto no ocurrió. Es pertinente hacer la consideración de que los cálculos del aporte de energía metabolizable, se realizaron a partir de la utilización de fórmulas (Menke y Steingass 1988; AFRC, 1993), por lo que pueden existir ligeras variaciones entre el contenido real de EM y lo estimado en los alimentos

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Respecto al balance de proteína, se observaron diferencias entre el aporte de PM a partir de los diferentes ingredientes de la dieta y los requerimientos estimados. La diferencia puede deberse a la forma en que se calculó el aporte de PM de los diferentes ingredientes de la dieta, el cual fue determinado a partir de las fórmulas propuestas por el AFRC (1993). Dichas fórmulas requieren de conocer algunas características de los alimentos como: proteína degradable en el rumen, proteína no degradable en el rumen, ritmo de degradación de las proteínas en el rumen, entre otras. Debido a que no se cuenta con estos valores para los ingredientes de la dieta utilizada, se tomó información de valores de tablas de los ingredientes similares citados en por el AFRC (1993).

Lo anterior pudo haber influido en la diferencia encontrada entre las necesidades de PM y la PM aportada por la dieta. Por otro lado, es poco probable que bajo tal déficit de PM se haya logrado mantener sin cambio el contenido de proteína en la leche y conservar la condición corporal (Cuadro 19). Por lo tanto, es posible que se esté haciendo una subestimación del aporte real de PM de los ingredientes de la dieta.

A demás de lo anterior, existen mecanismos como el reciclaje de urea salival y la urea contenida en el plasma sanguíneo, que pudieron haber contribuido a disminuir el déficit de proteína metabolizable. Al respecto Orskov (1992), menciona que la cantidad de urea que regresa al rumen vía saliva, parece estar directamente relacionada con la concentración de urea en sangre y de la cantidad de saliva secretada. La cantidad de saliva secretada, está influenciada por la estructura física de la dieta, por ejemplo, la secreción de saliva se incrementa con el incremento de la proporción de fibra larga.

El aporte de urea sanguínea hacia el rumen y el mecanismo de conservación de urea en el cuerpo mediante la reducción en la excreción de urea vía orina es un mecanismo que permite mantener niveles de amoníaco por encima de las necesidades mínimas para los microorganismos. Bajo tales condiciones la síntesis

microbiana se mantiene constante, lo cual puede favorecer o al menos mantener actividades como: consumo de alimento, digestibilidad de los alimentos, balance de nitrógeno, disponibilidad de proteína generada en rumen y mantener actividades productivas (ganancias de peso, producción de leche etc.) (Preston y Leng, 1987).

Por lo tanto es posible asumir que los mecanismos anteriormente mencionados contribuyeron hacia el mantenimiento de los rendimientos productivos de los animales, pese al balance proteico negativo.

6.1.6 Rendimientos y composición de leche

Rendimientos de leche

Los rendimientos promedio y la composición de leche para los tratamientos se observan en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Rendimientos, composición de leche, peso vivo y condición corporal por tratamiento

	Tratamientos			
	SEM-3	SEM-6	SEM-9	EEM
Leche (kg d ⁻¹)	18.8 ^a	19.2 ^a	19.1 ^a	1.3
Grasa (g kg ⁻¹)	32.6 ^a	34.1 ^a	33.8 ^a	1.3
Proteína (g kg ⁻¹)	32.6 ^a	33.6 ^a	32.2 ^a	1.2
Peso corporal (kg)	474.9 ^a	477.4 ^a	468.6 ^a	17.6
Condición corporal	1.75	1.75	1.75	

^a= NS (P > 0.05)

Para el factor tratamiento, no existieron diferencias estadísticamente significativas en producción de leche (P > 0.05) (anexo 4). También se observa que las diferencias entre tratamientos para composición de la leche, peso vivo y condición corporal no fueron significativas (P > 0.05) (anexos 5,6 y 7).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 19. Rendimientos y composición de leche, peso vivo, condición corporal y consumo de MO por PE

	Periodos			
	PE-1	PE-2	PE-3	EEM
Leche (kg d ⁻¹)	18.9 ^a	18.8 ^a	19.3 ^a	1.3
Grasa (g kg leche)	35.6 ^a	30.0 ^b	35.0 ^a	0.9
Proteína (g kg leche)	32.6 ^a	33.9 ^a	31.8 ^a	0.8
Peso corporal (kg)	470.0 ^a	482.6 ^a	467.6 ^a	12.4
Condición corporal	1.75	1.75	1.75	

* (P<0.05), NS (P>0.05)

Grasa y proteína

Los contenidos de grasa indican que no existieron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$); mientras que para PE existieron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) (anexo 5), entre el PE-2 y los otros dos periodos.

Con respecto a la composición de la leche, Thomas y Rook (1983) mencionan que el contenido de grasa en la leche se deriva directamente de los componentes de la dieta o de la movilización de reservas grasas del cuerpo. Los principales factores de la dieta que controlan la fermentación ruminal y, por lo tanto, la composición de la leche, son: relación forraje/concentrado, nivel de consumo de alimento, procesamiento de los forrajes y/o concentrados, así como la frecuencia de alimentación.

En el caso específico del bajo contenido de grasa para el PE-2, esto posiblemente se debió a que posteriormente a la sequía que se presentó a finales del PE-1, las praderas fueron regadas y fertilizadas, por lo tanto, el forraje se encontraba en etapa de crecimiento (inmaduro). No obstante de que en este periodo la digestibilidad fue mayor, al igual que el contenido de PC, esto tiene un efecto negativo en el contenido de grasa en la leche, ya que forrajes con estas características tienen un alto contenido de carbohidratos solubles y son bajos en fibra, por lo cual la grasa en leche tiende a disminuir (Rook, 1961; citado por Thomas y Rook, 1983).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

En cuanto a la concentración de proteína, no existió una diferencia estadísticamente significativa para los factores PE y tratamientos ($P > 0.05$) (anexo 6).

De manera general, los rendimientos de leche y contenidos de grasa registrados en este experimento resultaron inferiores a los obtenidos en trabajos en los que se utilizó ensilado de maíz (hasta 75% de inclusión) como suplemento en dietas basadas en ensilados de pasto de buena calidad (Fitzgerald y Murphy 1999; O'Mara *et al.*, 1998 y Phipps *et al.*, 1992). Sin embargo, en cuanto al contenido de proteína por kg de leche en este experimento, fue superior al registrado por aquellos autores, posiblemente por que el ensilado de pasto se asoció con bajos contenidos de metionina, dando como resultado bajos rendimientos de proteína en la leche de vacas que consumieron este tipo de ensilados (Thomas y Rook, 1983).

Es importante señalar que aunque no existió una respuesta a los niveles de inclusión de ensilado para las variables de respuesta animal, la importancia de este trabajo radica en el potencial de los forrajes de buena calidad para la producción de leche de manera eficiente, y sobre todo, de forma estable durante la época crítica de producción de forrajes.

Otro hecho que es importante mencionar es que la producción de leche se mantuvo estable a lo largo de los periodos experimentales (nueve semanas), lo cual no se esperaba, puesto que bajo condiciones normales la tasa de descenso en la producción de leche por semana es de 2% (Bath *et al.*, 1982).

De igual forma, no existió respuesta significativa a los tratamientos sobre el peso corporal y la condición corporal de las vacas, lo cual indica que los niveles de inclusión de ensilado de maíz y el forraje de la pradera permitieron mantener al menos sin cambio (pérdida de peso o CC) estas variables. Es debido a la importancia de estas dos variables sobre la productividad de los animales que se sugiere realizar este tipo de experimentos con periodos experimentales más prolongados, e incluso durante toda la lactación, para identificar las posibles

ventajas o desventajas que implica la utilización de niveles de suplementación como los utilizados en este experimento, sobre la totalidad de la lactancia y los rendimientos animales en general, así como el efecto de la suplementación sobre la carga animal por hectárea a lo largo de un año, y posibles efectos residuales.

Peso y condición corporal

La condición corporal se mantuvo sin cambio a lo largo del experimento. El resultado de análisis de varianza para peso corporal indica que no existió diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.01$) para los factores tratamiento y PE (anexo 7).

6.1.7 Análisis económico

Para la realización del análisis económico, sólo se tomaron en cuenta los costos de producción por concepto de alimentación, debido a que dentro de los costos totales de producción en la actividad pecuaria, y en especial en la producción de leche, son los costos de alimentación los que más impactan la rentabilidad de este tipo de sistemas.

En el Cuadro 20 se observan los costos totales de alimentación para cada tratamiento. Para el cálculo de los costos por concepto de ensilado de maíz se considera el ensilado ofrecido por tratamiento y no el consumido, debido a que el alimento rechazado se considera como un desperdicio. Respecto al consumo de pradera, éste se estimó por diferencia de los consumos totales estimados (Cuadro 15) para cada tratamiento al restar la cantidad de ensilado de maíz y alimento comercial consumido.

El costo de cada kg de alimento comercial fue de \$1.91 pesos, el cual se mantiene fijo debido a que la cantidad ofrecida para cada tratamiento fue de 3.0 kg/vaca/día, para todo el experimento.

Cuadro 20. Costos por concepto de alimentación para los tratamientos de ensilado de maíz

Tratamientos	SEM-3	SEM-6	SEM-9
Alimento comercial	\$ 722 00	\$ 722 00	\$ 722 00
Costos de forraje			
Ensilado de maíz	\$ 340 20	\$ 680 40	\$ 1,020 60
Pradera	\$ 349 27	\$ 249 48	\$ 167 83
Costo total de alimentación	\$ 1,411 45	\$ 1,651 86	\$ 1,910 41
Kg leche/tratamiento	2,386 30	2,397 00	2,446 30
Total de retornos en efectivo	\$ 6,681 64	\$ 6,711 60	\$ 6,849 64
Total de gastos en efectivo	\$ 1,411 45	\$ 1,651 86	\$ 1 910 41
Margen bruto	\$ 5,270 19	\$ 5,059 74	\$ 4,939 23
Relación gasto en efectivo/ retorno	\$ 1/4 70	\$ 1/4 00	\$ 1/3 60
Costo de alimentación/kg de leche	\$ 0 59	\$ 0 69	\$ 0 78
Precio de venta/kg de leche	\$ 2 80	\$ 2 80	\$ 2 80
Diferencia/kg leche	\$ 2.21	\$ 2.11	\$ 2.02

El costo por kg de MO de ensilado de maíz fue de \$0.90 pesos. En particular, el costo de este ingrediente fue elevado debido principalmente al bajo rendimiento de MS por hectárea, el cual se estimó en 10 toneladas de MS, y a las dificultades técnicas (disponibilidad de maquinaria). Como punto de referencia, se menciona que tanto en la Unión Europea como en Estados Unidos el costo máximo que puede alcanzar un kg de MS de ensilado de maíz es de \$0.54 pesos (Mayne *et al* 2000).

La ANF en la pradera durante el año en que se realizó el estudio fue de 11.9 toneladas de MO por ha⁻¹, mientras que el costo de mantenimiento fue de \$4,365.4 (incluye costo de amortización de los costos de establecimiento a cinco años en \$639.0 pesos), por lo que el costo de un kg de MO de pradera fue de \$0.36 pesos. Como punto de referencia nuevamente se menciona que el costo de un kg de MS de pasto (bajo sistema de pastoreo) oscila entre \$0.33 pesos y \$0.52 pesos en Gran Bretaña (Mayne *et al.*, 2000), por lo que en este rubro se pudo obtener un costo de producción considerablemente bajo.

En el Cuadro 20 se observan los costos totales de cada uno de los tratamientos; considerando que no existió una respuesta favorable en cuanto a producción de

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

leche, se observa para el tratamiento SEM-6 un mayor costo, el cual fue \$ 498.9 pesos en relación con el tratamiento SEM-3; por lo tanto desde el punto de vista económico no se justifica suplementar con más de 3 kg de ensilado de maíz.

Respecto a los márgenes brutos, se observa que el tratamiento SEM-3 es el que registró el mayor margen; la diferencia entre el tratamiento SEM-3 y el tratamiento SEM-9 es de \$330.9 pesos en favor del primero.

En cuanto al rubro gasto en efectivo/retorno, que indica la relación retorno por cada peso invertido, se observa que el tratamiento SEM-3 tiene un retorno de \$ 1.1 pesos más que los demás tratamientos.

El costo por kg de leche para cada tratamiento se observa en el Cuadro 20, en el cual se observa que los costos son bajos. En promedio, se tiene que los concentrados representan el 44% de los costos totales de alimentación, mientras que el ensilado de maíz representa 40%, y la pradera el 16% de los costos por kg de leche producido.

Como dato complementario, Arriaga *et al.* (2000a) estiman que los costos totales de producción de leche bajo el sistema de producción planteado en los experimentos presentes (considerando todos los costos que incurren en la actividad lechera) fue de \$1.53 pesos por kg de leche producido. Esto pone de manifiesto que el basar la alimentación de ganado lechero en forrajes de buena calidad y un bajo nivel de utilización de alimentos comerciales hace posible una producción de leche atractiva, permitiendo a los productores ser competitivos en el mercado de la leche fluida.

6.2 Experimento suplementación con concentrados

6.2.1 Condiciones meteorológicas

Temperaturas

En la figura 4 se observa el comportamiento de las variables climatológicas para cada PE a lo largo del experimento (del 26 de junio al 27 de agosto de 2000); cada PE tuvo una duración de 21 días, como se observa en el eje horizontal.

Para este experimento, la temperatura máxima fue de 20.46 °C, la mínima, de 6.8 °C y el promedio de 13.6 °C, valores que se encuentran dentro del rango normal para esta época del año y no limitan el crecimiento de las praderas.

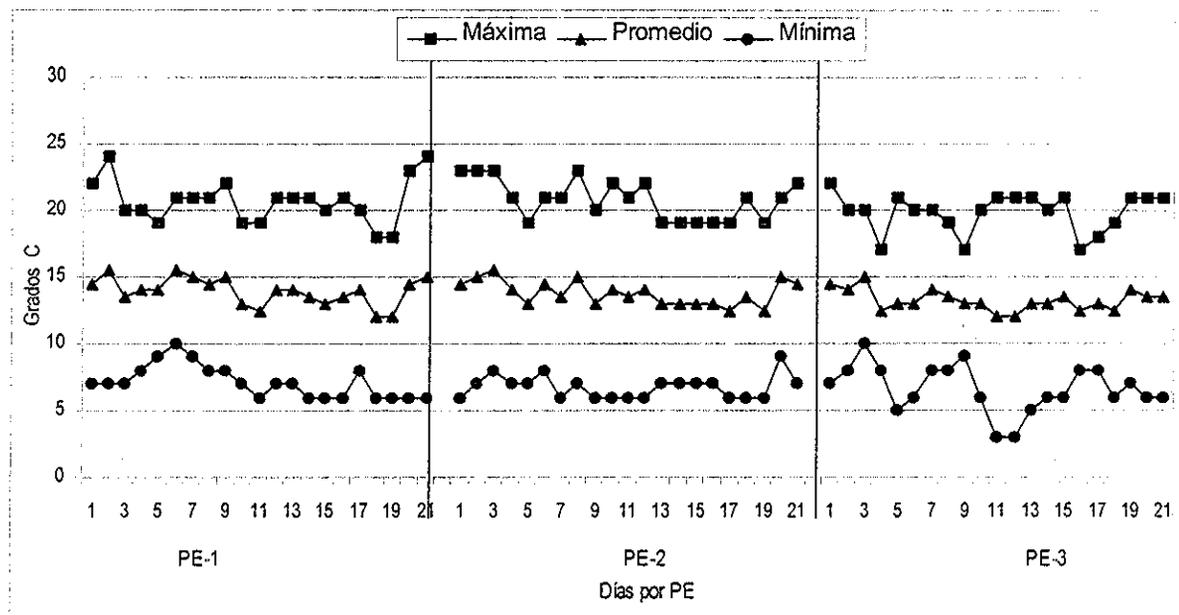


Figura 4. Temperaturas máximas, mínimas y promedio diarias durante el experimento suplementación con concentrados (SC)

Precipitación

En la figura 5 se observan las precipitaciones registradas durante la realización del experimento. Cada punto en la figura corresponde a la precipitación diaria (mm de lluvia) registrada para cada PE.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La precipitación total para el experimento fue de 332.0 mm de lluvia, los cuales se distribuyeron de la siguiente forma: 42% PE-1, 37% PE-2 y 18% PE-3 (139, 122 y 61 mm de lluvia, respectivamente)

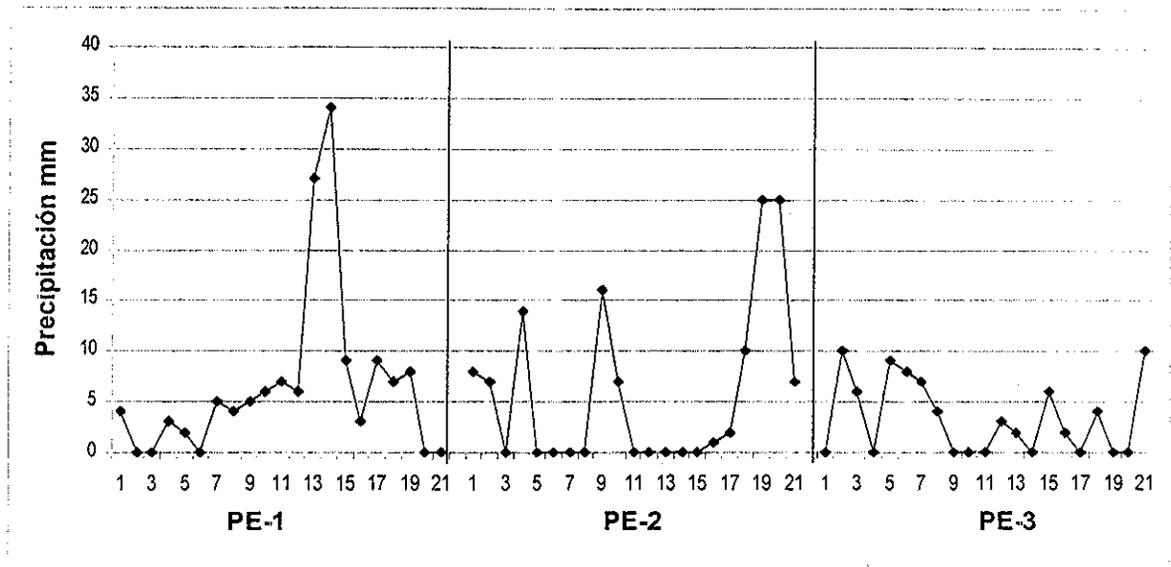


Figura 5. Precipitación pluvial (mm d⁻¹) durante el experimento suplementación con concentrados (SC)

6.2.2 Acumulación neta de forraje

En el Cuadro 21 se presenta la ANF en kg de MO ha⁻¹ por día, por PE y el promedio para los periodos. La ANF total del experimento fue de 3,987.6 kg MO ha⁻¹, con un promedio por periodo de 1,329.2 ± 347.8 kg MO ha⁻¹.

En el Cuadro 21 se observan variaciones importantes en la ANF para cada PE, siendo esta variación de mayor magnitud en el PE-3, debido a un periodo de no pastoreo en las semanas 1 y 2 de este PE.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuadro 21. Acumulación neta de forraje (kg MO ha⁻¹) por periodo experimental (PE), experimento suplementación con concentrados

Periodos	PE-1	PE-2	PE-3
ANF total	1073.5	890.0	2024.0
ANF promedio d ⁻¹	51.1	42.4	96.4
ANF promedio por periodo (kg MO ha ⁻¹)	1329.2		

De acuerdo con los argumentos de Hopkins *et al.* (2000), el alto nivel de precipitación pudo haber influido en la menor ANF en el PE-1 y PE-2, mientras que en el PE-3 la menor precipitación y las condiciones de altura pudieron haber contribuido al incremento de la ANF (Cuadro 21).

En el Valle de Toluca, Quintanar y Domínguez (1988), encontraron un efecto similar en la disminución de la ANF debido a una mayor precipitación registrada para un periodo determinado de tiempo; la época en que se realizó este estudio fue en primavera-verano, en praderas similares a las del presente trabajo y a una distancia de 16 km de la zona de estudio.

Holmes (1989) menciona rangos de producción diaria de forraje de entre 30 y 120 kg MS día⁻¹. Para este experimento, así como para el experimento SEM, los intervalos de crecimiento van de 8.3 hasta 96.4 kg MO ha⁻¹ d⁻¹, que se encuentran dentro de los valores mencionados.

El valor de ANF ha⁻¹ d⁻¹ estimado para el PE-3 de este experimento es un valor alto (Cuadro 21), lo cual muestra el potencial de este tipo de praderas, siempre y cuando se presenten las condiciones adecuadas para su expresión, como: temperatura, humedad, índice de área foliar, altura de la pradera y niveles de fertilización.

La ANF promedio para este experimento fue de 63.3 kg MO ha⁻¹ d⁻¹, mayor a lo reportado por Quintanar y Domínguez (1988) y dentro del intervalo mencionado por Holmes (1989). La ANF por día obtenida en el PE-3 indica que es posible obtener producciones de forraje por día similares a las obtenidas por Arriaga

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

(1985), siempre y cuando se presenten condiciones adecuadas de altura, humedad y manejo de la fertilización, como las que se presentaron en el PE-3.

En el Cuadro 22 se muestra la eficiencia de utilización que se obtiene al dividir la cantidad de forraje consumido entre el forraje producido. Se observa un menor nivel de eficiencia de utilización (95% vs 66%) en relación con el experimento SEM.

Cuadro 22. Eficiencia de utilización del forraje de la pradera para el experimento SC

	(kg MO ha ⁻¹)
Forraje producido	3987.25
Forraje consumido	1814.00
Eficiencia de utilización	0.51

De forma general, se observa un bajo nivel de eficiencia de utilización de la pradera, debida a la restricción impuesta por una baja altura.

La eficiencia de utilización de la pradera para los PE fue: de 0.56, 0.68 y 0.30 respectivamente. El principal factor que determinó la ANF en el PE-3 fue que las vacas no pastorearan la pradera en las dos primeras semanas del periodo, por lo que se logró incrementar la altura de la pradera y, por lo tanto, la capacidad fotosintética de las plantas aumentó. Esto permitió obtener una gran producción de forraje para este periodo (ver Cuadro 21 y figura 6). Lo anterior explica la baja eficiencia de utilización para el PE-3.

6.2.3 Altura de la pradera

En la figura 6 se observan las alturas de las praderas para cada PE. Cada punto en la figura corresponde a mediciones de altura realizadas a intervalos de 3 días. La altura promedio para el experimento fue 3.1 cm. La altura promedio para cada PE fue de: 2.9 cm (PE-1), 2.5 cm (PE-2) y 4.8 cm (PE-3).

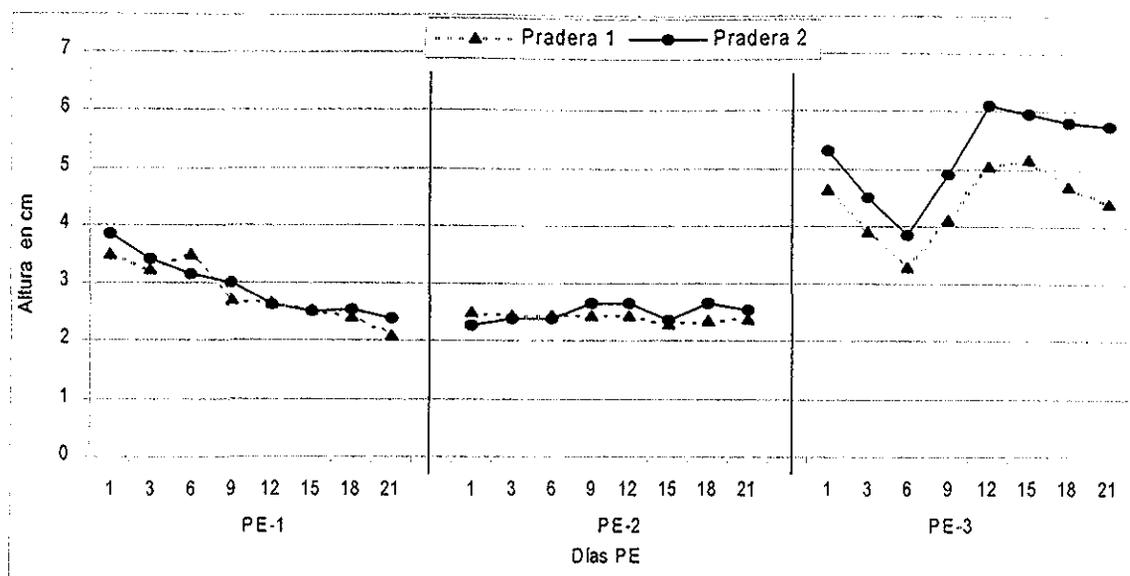


Figura 6. Altura de pradera (cm) para cada periodo experimental experimento SC

La altura de la pradera al inicio del experimento fue de 3.7 cm; posteriormente, como consecuencia del pastoreo y la alta carga animal, la altura de las praderas al final del PE-1 disminuyó a 2.4 cm, condición que se mantuvo durante todo el PE-2, por lo que el promedio de la pradera para este periodo fue de 2.5 cm.

Debido, a las condiciones difíciles de altura de la pradera para los PE-1 y PE-2 se decidió sacar a las vacas de la pradera durante las dos primeras semanas del PE-3, regresando estas hacia la tercera semana del periodo. Es por esta razón que se observa un incremento importante en la altura de la pradera en el PE-3, manteniéndose en promedio en 4.8 cm.

Parsons y Johnson (1985) mencionan algunos trabajos que en la práctica han logrado obtener rendimientos máximos de forraje por ha^{-1} bajo pastoreo continuo cuando la altura de las praderas ha sido de entre 4 y 6 cm. En praderas mantenidas a baja altura (< 3.0 cm) y bajo una alta presión de pastoreo, estos mismos autores indican que una alta proporción de hoja es removida, por lo que el proceso de fotosíntesis se reduce, disminuyendo substancialmente la producción de forraje. Sin embargo, la disminución en la producción de forraje es compensada

con un incremento en la eficiencia de utilización del forraje por parte de los animales, por lo que la cantidad de forraje cosechado se incrementa.

6.2.4 Composición de los alimentos

Alimento comercial y alimento con óxido de cromo

En el Cuadro 23 se presenta la composición química del alimento comercial y del alimento utilizado como vehículo del óxido de cromo (Cr_2O_3). Se observan en primer lugar los contenidos de MS y MO para el alimento comercial, los cuales fueron similares entre los PE, y a su vez muestran la misma estabilidad con respecto del experimento SEM.

Cuadro 23. Composición química del alimento comercial y alimento con Cr_2O_3

	Periodos Experimentales		
	PE-1	PE-2	PE-3
Alimento comercial g kg			
Materia seca	951.0	904.0	908.0
Materia orgánica	820.0	817.0	835.0
Proteína cruda	160.0	148.8	165.6
Fibra detergente neutro	360.0	369.9	352.9
Fibra ácido detergente	203.0	251.3	205.9
EM (MJ kg^{-1} MO)	11.3	11.2	11.4
Alimento con Cr_2O_3 g kg^{-1} MO			
Cr_2O_3 g kg^{-1} MO	2.4	2.3	2.4
Materia seca	920.6	921.2	917.7
Materia orgánica	883.0	884.0	876.0
Proteína cruda	157.1	170.0	155.0
Fibra detergente neutro	324.8	250.1	303.6
Fibra ácido detergente	81.1	55.7	113.6
EM (MJ kg^{-1} MO)	12.5	12.4	12.5

El alimento comercial muestra diferencias respecto de los PE para el contenido de PC. Los contenidos de FDN fueron ligeramente diferentes entre PE, mientras que para FDA la variación fue mayor. El alimento utilizado como vehículo para el óxido de cromo muestra contenidos similares de MO entre PE.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

El contenido de proteína cruda para el PE-2 resultó menor en relación a los demás PE. Los valores de FDN fueron similares entre PE, mientras que para FDA existió una variación importante.

Pradera

En el Cuadro 24 se presenta la composición química de la pradera para los diferentes periodos experimentales. En primer lugar, se observan los contenidos de MO por kg de la pradera. Respecto del contenido de PC, el valor más bajo se observa en el PE-2, mientras que en los periodos 1 y 3 los valores fueron adecuados para este tipo de praderas (120 – 160 g kg⁻¹) (Hodgson, 1994). Los valores de FDN y FDA se encuentran dentro de los rangos mencionados por Delagarde *et al.* (1997).

Los valores de digestibilidad fueron bajos respecto de los valores considerados como adecuados para este tipo de pastos (850 g kg⁻¹ vs 601.0 g kg⁻¹ promedio, para este experimento) (Améndola y Martínez, 1998). La digestibilidad de la pradera correspondiente al PE-3 no se registró debido a una confusión entre muestras, por lo que se decidió no incluirlo.

Cuadro 24. Análisis químico de la pradera para el experimento suplementación con concentrados (SC)

Pradera	PE-1	PE-2	PE-3
Materia Orgánica (g kg ⁻¹)	202.4	267.0	236.5
Proteína Cruda (g kg ⁻¹ MO)	160.4	121.5	161.9
Fibra Detergente Neutro (g kg ⁻¹ MO)	572.4	473.8	517.9
Fibra Detergente Ácido (g kg ⁻¹ MO)	474.3	247.9	260.5
Digestibilidad (g kg ⁻¹ MO)	602.6	599.7	ND
Energía Metabolizable (MJ kg ⁻¹ MO)	9.0	11.2	11.1

ND= valor no determinado

Hodgson (1994) explica la variación en la digestibilidad con respecto a la altura de la pradera. Menciona que por a bajo de una altura de 10 cm la digestibilidad no puede ser mayor de 750 g/kg, mientras que la digestibilidad de praderas con alturas de 3 cm, similares a las registradas en este experimento, es de 602.6 g/kg. Lo anterior se debe a que bajo condiciones de altura de 3 cm, como se observó en

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

este experimento, el correspondiente índice de área foliar (IAF) es de 2. Bajo esta situación, la proporción de hoja sobre tallo es menor; es decir, existe mayor proporción de tallo, que es menos digestible, que de hoja (Hodgson, 1994).

La energía metabolizable fue calculada mediante la fórmula propuesta por Menke y Steingass (1988), a partir de valor de FDA de la pradera. Por lo que se observa en el Cuadro 24, hubo un contenido de EM en el PE-1 ligeramente inferior a lo indicado por Beever *et al.* (2000), quienes mencionan como rango normal de EM para este tipo de pastos entre 10-12 MJ kg MS.

6.2.5 Consumo de alimento

En el Cuadro 25 se observa el consumo de concentrado, pradera y los consumos totales estimados (fórmulas AFRC, 1993) y determinado ($Cr_2 O_3$) por tratamiento por vaca d^{-1} en kg MO. Los consumos totales determinados a partir de la utilización de $Cr_2 O_3$, fueron: 4.0, 3.8 y 7.6 kg de MO para los tratamientos SC-1, SC-3 y SC-6, respectivamente. En general existe una subestimación promedio para el consumo determinado de 56% respecto del consumo estimado a partir de fórmulas.

Cuadro 25. Consumo promedio por vaca d^{-1} de alimentos ofrecidos en los diferentes tratamientos del experimento suplementación con concentrados (SC)

Consumo (kg MO d^{-1})	Tratamientos			
	SC-1	SC-3	SC-6	EEM
Concentrado	0.9	2.6	5.3	
Pradera *	8.2 ^a	7.3 ^a	6.1 ^b	0.5
Consumo total (AFRC, 1993)*	9.1	9.9	11.4	
Consumo total ($Cr_2 O_3$)	4.9 ^a	6.4 ^a	5.9 ^a	0.5
Tasa de sustitución (kg MO)	0.48			

*Valores con diferente superíndice en hileras indican diferencia estadística ($P < 0.05$)

No existieron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) para los consumos totales determinados a partir de $Cr_2 O_3$ (anexo 8).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

No existieron diferencias estadísticamente significativas para el consumo de pradera entre los tratamientos SC-1 y SC-3 ($P < 0.05$), mientras que éstos fueron estadísticamente diferentes del tratamiento SC-6 (anexo 9).

En cuanto al efecto substitutivo que existe entre los tratamientos SC-1 y SC-6, por cada kg de concentrado extra suplementado (diferencia de 4.0 kg entre los tratamientos) los animales dejaron de consumir 0.48 kg de MO de pradera.

La tasa de substitución reportada para este experimento se encuentra dentro del intervalo considerado como normal reportado por Leaver (1985), quien refiere tasas de substitución de entre 0.4 y 0.6 kg de forraje por kg de concentrado suplementado. Sin embargo, a pesar del efecto substitutivo, la mayor suplementación en el tratamiento SC-6 incrementó de manera significativa el consumo total de MO (Cuadro 25), de acuerdo con los valores estimados.

En el Cuadro 26 se observan los consumos de cada uno de los componentes de la dieta para los PE. Los consumos totales ($Cr_2 O_3$) para los PE-1 y PE-2 no fueron estadísticamente diferentes entre sí, pero fueron diferentes del consumo total en el PE-3 ($P < 0.05$).

Cuadro 26. Consumos de alimentos (kg MO d⁻¹) por PE del experimento suplementación con concentrados (SC)

Consumo kg MO d ⁻¹	Periodos experimentales			
	PE-1	PE-2	PE-3	EEM
Concentrado	2.9	2.9	2.9	
Pradera *	7.3 ^a	6.9 ^a	7.3 ^a	0.5
Consumo total (AFRC, 1993)*	10.2	9.8	10.2	
Consumo total ($Cr_2 O_3$)	6.6 ^a	5.6 ^a	4.3 ^b	0.7

^{a b} Valores con diferente superíndices, indican diferencia estadística ($P < 0.05$)

No existe diferencia estadísticamente significativa para los PE respecto del consumo de pradera ($P < 0.05$), calculado a partir de fórmulas (AFRC, 1993).

En el Cuadro 27 se observa la contribución de los ingredientes al consumo de MO kg d⁻¹, de EM (MJ kg MO d⁻¹) y de PM (g/kg MO d⁻¹) para los tratamientos y periodos experimentales. Se presentan los consumos determinados a partir de Cr_2

**TEJIDO CON
FALLA DE ORIGEN**

O₃ y los consumos estimados a partir de la utilización de las fórmulas propuestas por el AFRC (1993). La discusión del cuadro está en función del consumo estimado por las fórmulas, ya que dan una mejor explicación de los rendimientos animales en comparación con los consumos determinados con Cr₂ O₃.

En el Cuadro 27, se puede observar que existe una importante diferencia entre el consumo determinado (Cr₂ O₃) y estimado (fórmulas AFRC, 1993), el grado de subestimación de consumo para tratamientos fue de 57%, mientras que para periodos experimentales fue de 55%.

Cuadro 27. Contribución de los alimentos a las necesidades de consumo de MO y energía metabolizable, para los tratamientos y los periodos experimentales

		Tratamientos			Periodos		
		SC-1	SC-3	SC-6	PE-1	PE-2	PE-3
Consumo de MO kg d ⁻¹							
Aporte kg MO d ⁻¹	Concentrado	0 90	2 60	5 30	2 90	2 90	2 90
	Pradera	8 20	7 30	6 10	7 30	6 90	7 30
Necesidades de Consumo* (kg MO d ⁻¹)		9 10	9 90	11 40	10 20	9 80	10 20
Consumo Determinado * (kg MO d ⁻¹)		4 90	6 40	5 90	6 60	5 60	4 30
Balance (kg MO d ⁻¹)		- 4 20	- 3 50	- 5 50	- 3 60	- 4 20	- 5 90
* Energía Metabolizable (MJ vaca d ⁻¹)							
Aporte	Concentrado	10 17	29 38	59 89	32 77	32 48	33 06
	Pradera	85 55	76 58	64 37	66 15	78 18	81 81
EM a partir de la dieta (MJ vaca d ⁻¹)		95 72	105 96	124 26	98 92	110 66	114 87
Necesidades estimadas * EM (MJ/vaca/d ⁻¹)		111 68	113 64	118 46	115 75	111 98	116 21
Balance EM MJ d ⁻¹		-15 96	-7 68	5 80	-16 83	-1 32	-1 34
* Proteína Metabolizable (PM) (g d ⁻¹)							
Aporte	Concentrado	87 30	252 20	514 20	284 90	263 60	295 60
	Pradera	1043 40	971 00	795 40	1157 50	832 20	1157 40
PM a partir de la dieta (g vaca d ⁻¹)		1130 70	1223 30	1309 60	1442 40	1095 80	1452 90
Necesidades estimadas * PM (g vaca d ⁻¹)		918 30	976 10	1118 60	1038 40	918 30	1042 90
Balance PM (g vaca d ⁻¹)		+214.40	+ 247.20	+ 191.00	+ 404.00	+ 177.50	+ 410.00

* A partir del Cr₂ O₃

*A partir de fórmulas AFRC (1993)

Se obtuvo un balance negativo en EM para los tratamientos SC-1 y SC-3, mientras que para el tratamiento SC-6 el balance fue positivo. Teóricamente, el balance negativo de energía debió limitar la producción de leche en los tratamientos SC-1 y SC-3, lo cual no ocurrió. Mientras que en el caso del tratamiento SC-6, el balance positivo debió reflejarse en al menos 1 kg más de leche.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**ESTA TESIS NO SALIÓ
DE LA BIBLIOTECA**

Desafortunadamente, en este experimento no se registró ni el peso ni la condición corporal de los animales, lo cual podría haber aportado mayor información que permitiera explicar el que los animales pudieran haber mantenido su producción de leche a partir de la utilización de las reservas corporales de grasa para sostener la producción de leche en el caso de los tratamientos SC-, SC-3 y los tres periodos experimentales, en los cuales el balance energético fue negativo.

Existen dos posibles factores que permitan explicar que la producción de leche pudo ser sostenida: la movilización de las reservas corporales y el aporte de energía a partir del balance positivo de proteína metabolizable. Como ya se mencionó no fue posible monitorear los cambios en condición corporal por lo que no se puede establecer la contribución de las reservas grasas hacia el balance de energía total de los animales. Por otro lado, los excedentes de PM, aportan energía la cual contribuye a reducir el déficit de energía.

En el cuadro 28 se observa la contribución de EM por g de PM, con lo cual el balance energético negativo se reduce por lo cual se puede suponer que el resto de la energía necesaria para cubrir las necesidades de los animales fue contribuida por la movilización de reservas grasas.

Cuadro 28. Contribución de energía metabolizable a partir de proteína metabolizable

	Tratamientos			Periodos		
	SC-1	SC-3	SC-6	PE-1	PE-2	PE-3
PM a partir de la dieta (g vaca d ⁻¹)	1130 70	1223 30	1309 60	1442 40	1095 80	1452 90
Necesidades estimadas * PM (g vaca d ⁻¹)	918 30	976 10	1118.60	1038 40	918 30	1042 90
Balance PM (g vaca d ⁻¹)	+214 40	+247 20	+191 00	+404 00	+177 50	+410 00
EM a partir de PM [□] (MJ vaca d ⁻¹)	2.83	3.30	2.55	5.39	2.37	5.47

* A partir de fórmulas AFRC (1993)
[□] 13 34 kJ/ g PM (ver anexo 13)

La contribución de la pradera a los requerimientos de proteína fue de : 92, 79 y 60 %, tratamientos SC-1, SC-3 y SC-6, respectivamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.2.6 Rendimientos y composición de leche

Rendimientos de leche

Para el factor tratamiento se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en favor del tratamiento SC-6, con una media de producción de 15.8 kg d⁻¹, mientras que los tratamientos SC-1 y SC-3 no fueron diferentes entre sí ($P > 0.05$), con rendimientos de leche promedio de 11.3 y 12.6, respectivamente (Cuadro 29) (anexo 10).

Cuadro 29. Rendimientos y composición de leche por tratamiento, experimento SC

	Tratamientos			EEM
	SC-1	SC-3	SC-6	
Leche (kg d ⁻¹)	11.3 ^a	12.6 ^a	15.8 ^b	0.9
Grasa (g kg)	37.8 ^a	37.6 ^a	33.8 ^a	1.8
Proteína (g kg)	35.1 ^a	32.8 ^a	33.0 ^a	1.5

^{a-b} Valores con literales diferentes indican diferencias significativas * ($P < 0.05$)

La diferencia en favor del tratamiento SC-6 se explica a partir de los balances del Cuadro 27, en el cual se observa que existió un balance de energía y de proteína positivo, mientras que para los tratamientos SC-1 y SC-3 el balance energético fue negativo.

En el caso del factor periodo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$) (Cuadro 30).

Cuadro 30. Rendimientos, composición de leche y consumo de alimento por PE, experimento SC

	Periodos			EEM
	PE-1	PE-2	PE-3	
Leche (kg d ⁻¹)	14.0 ^a	11.3 ^a	14.1 ^a	0.9
Grasa (g kg)	38.6 ^a	35.6 ^a	35.5 ^a	1.8
Proteína (g kg)	30.6 ^a	36.3 ^a	34.0 ^a	1.5

^{a-b} Valores con literales diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

Otro punto a considerar es que la pradera contribuyó en promedio con el 70% del aporte de energía a la dieta, lo cual demuestra su importancia en la producción de leche.



Grasa y proteína

Los contenidos de grasa y proteína para los tratamientos y periodos experimentales (cuadros 29 y 30) no fueron estadísticamente significativos ($P > 0.05$) (anexo 11).

Peso y condición corporal

Como se mencionó anteriormente, debido a que la báscula electrónica con que se contaba sufrió una descompostura el peso corporal y la condición corporal no se registraron.

6.2.7 Análisis económico

De la misma forma que en el experimento anterior, para la realización del análisis económico en este experimento sólo se tomaron en cuenta los costos de producción por concepto de alimentación, debido a que, dentro de los costos totales de producción en la actividad pecuaria, son los costos de alimentación los que más impactan en la rentabilidad de este tipo de sistemas.

Cuadro 31. Costos por concepto de alimentación por tratamiento

Tratamientos	SC-1	SC-3	SC-6
Alimentos comercial	\$ 240 66	\$ 721 98	\$ 1,443 96
Pradera	\$ 371 95	\$ 331 13	\$ 276 70
Costos totales de Alimentación	\$ 612 61	\$ 1,053 11	\$ 1,720 66
Retornos			
Kg leche/tratamiento	1,311 30	1,459 60	1 691 80
Precio de venta/kg de leche	\$ 2 80	\$ 2 80	\$ 2 80
Total retornos en efectivo	\$ 3'671 64	\$ 4'086 88	\$ 4'737 04
Total gastos en efectivo	\$ 612 61	\$ 1,053 11	\$ 1,720 66
Margen bruto	\$ 3,059 03	\$ 3,033 77	\$ 3,016 38
Relación retorno/gasto en efectivo	\$ 1/5 99	\$ 1/3 88	\$ 1/2 75
Costo de alimentación/kg de leche	\$ 0 47	\$ 0 72	\$ 1 02
Precio de venta/kg de leche	\$ 2 80	\$ 2 80	\$ 2 80
Diferencia/kg leche	\$ 2.33	\$ 2.08	\$ 1.78

En el cuadro 31 se observan los costos totales por concepto de alimentación para cada nivel de suplementación con alimento concentrado. Respecto del consumo de pradera, éste se determinó por diferencia de los consumos totales estimados

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

por cada tratamiento, al restar la cantidad de suplemento, de acuerdo con los tratamientos.

El costo de cada kg de alimento comercial fue de \$1.91 pesos. Esta cantidad se multiplicó por los kg día⁻¹ de alimento concentrado por tratamiento y por la duración del experimento (63 días).

El costo por kg de MO de pasto fue de \$0.36 pesos, como ya se explicó en el punto 5.7. Como punto de referencia se menciona que el costo de un kg de MO de pasto (bajo sistema de pastoreo) oscila entre \$0.33 pesos y \$0.52 pesos (Mayne *et al.*, 2000), por lo que en este rubro se pudo obtener un costo de producción considerablemente bajo.

De acuerdo con el análisis estadístico para la producción de leche por tratamiento, no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos SC-1 y SC-3, mientras que estos a su vez fueron diferentes del tratamiento SC-6. Sin embargo, desde el punto de vista económico, dentro del rubro "retornos en efectivo" existió una diferencia entre el tratamiento SC-1 y SC-3 de \$415.3 a favor de este último, y entre el tratamiento SC-3 y SC-6 de \$650.1 a favor del tratamiento con el nivel de suplemento alto.

Al descontar el total de gastos en efectivo de los retornos en efectivo se obtiene el "margen bruto". Aquí, las diferencias que parecerían favorables para los tratamientos SC-3 y SC-6, se revierten, con lo que se observa que el tratamiento SC-1 fue el más redituable. La diferencia fue de \$ 42.65 pesos más, con menores rendimientos de leche, que los tratamientos SC-3 y SC-6.

Es decir, que el tratamiento con menores rendimientos de leche resultó tener un mayor retorno económico. Esto se observa claramente en el rubro gasto en efectivo/retorno, que indica que para el caso del tratamiento SC-1, por cada peso invertido el retorno fue de \$ 6, mientras que en los tratamientos SC-3 y SC-6, los retornos fueron de \$ 3.9 y \$ 2.7, respectivamente.

El costo de alimentación por kg de leche producido para este experimento fue: \$0.47, \$0.73 y \$1.02, para los tratamientos SC-1, SC-3 y SC-6, respectivamente. A partir de estos resultados es posible sugerir que el margen de ganancia por cada kg de leche producido es mayor cuando se utiliza menor nivel de suplementación con alimentos concentrados.

7. Discusión general

Los resultados del análisis económico (márgenes brutos), indican que los tratamientos SEM-3 y SC-1 fueron los más favorables (desde el punto de vista económico), pues se maximizaron los recursos (ensilado de maíz, pradera y concentrado) incrementando la productividad del sistema, entendiendo esto como la cantidad de recursos empleados (alimentos) en relación al producto obtenido (kg de leche).

En el experimento SC, y no obstante que se obtuvieron menores rendimientos de leche con el tratamiento SC-1, los márgenes brutos fueron mayores que cuando se obtuvieron mayores rendimientos de leche en los tratamientos SC-3 y SC-6; es decir, se obtuvo un incremento en la productividad por animal (mayores márgenes de ganancia) en lugar de mayores rendimientos de leche por animal.

Sin embargo, pese a las ventajas en cuanto a márgenes brutos, costos de producción por kg de leche y estabilidad en la producción de leche a lo largo de los periodos experimentales; resulta un poco aventurado poner en practica tales tratamientos en periodos de tiempo mayores a los realizados en este experimento, debido a que el sistema (vacas-praderas) se encontraba funcionando en el límite. Prueba de lo anterior, son las bajas calificaciones de condición corporal (1.75), la baja altura de las praderas experimentales.

El bajo nivel de suplementación, ocasionó una alta demanda de forraje para la pradera, la cual, se mantuvo en promedio en una altura de 3.3 cm, que resulta ser crítica tanto para el consumo de los animales (limitante física), pero sobre todo, por un bajo índice de área foliar (< 3.0), lo cual indica que la capacidad de producción de forraje se encontraba reducida de manera importante (Hodgson, 1994).

Es importante considerar que, aunque los datos de ANF indican que las producciones de forraje fueron adecuadas e incluso mayores a la demanda por parte de los animales; pudieron existir diferencias entre la ANF determinada mediante los cortes en las jaulas de exclusión y el forraje producido en el resto de la pradera. La altura del forraje dentro de las jaulas de exclusión cortado a 28 días fue mayor a la altura promedio del resto de la pradera a lo largo de los experimentos; esto indica, que la capacidad fotosintética de las plantas dentro de jaula fue diferente al crecimiento de las plantas en el resto de la pradera.

Los datos de ANF determinados para cada PE en ambos experimentos, indican que el forraje producido fue mayor al forraje necesario para cubrir la demanda de los animales, excepto en el PE-1 del experimento SEM. Sin embargo, no todo el forraje producido por día estuvo disponible para los animales; debido a una restricción representada por la altura de la pradera.

Factores como: falta de precipitación, exceso de precipitación, altas o bajas temperaturas o días nublados afectaron la producción de forraje en periodos cortos de tiempo. Mientras que, por otro lado, la demanda de forraje por los animales siempre es alta y de manera constante. Por lo tanto, estas fluctuaciones en la producción de forraje son las que pueden romper el frágil equilibrio entre la pradera y los animales.

Rook *et al.* (1994) indican que por a bajo de una altura de pastoreo de 4.0 cm, el consumo de los animales se ve limitado, por lo que recomiendan que la altura adecuada para que los animales no encuentren restricción de tipo físico debe estar entre 6.0 y 8.0 cm.

La baja altura promedio de las praderas registrada a lo largo de los experimentos se relacionó con una disminución en la producción diaria de forraje, debido a un IAF menor a 3.0, lo cual reduce la capacidad fotosintética de las plantas y, por lo tanto, disminuye la ANF (Hodgson, 1994). Este efecto se observa claramente en el PE-3 del experimento SC (Cuadro 21, figura 6), en donde la ANF fue de 96.4 kg

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MO ha⁻¹ d⁻¹, siendo la más alta registrada para ambos experimentos, debido a que en este periodo se obtuvo la altura de pradera más alta (4.8 cm) de todos los PE

Sin embargo, lo anterior no explica por qué en el experimento SEM hubo una mayor producción de forraje cuando la altura promedio de la pradera fue menor (cuadro 32).

Cuadro 32 Acumulación neta de forraje por periodo experimental y altura de pradera, experimento suplementación con ensilado de maíz

Periodos experimentales	PE-2	PE-3
ANF (kg MO ha ⁻¹ d ⁻¹)	67.8	41.6
Altura (cm)	2.9	4.1

La explicación puede estar en el hecho de que cuando las praderas son mantenidas a alturas menores de 3.0 cm, el número de tallos por m² es mayor, por lo que es posible obtener una mayor ANF a menor altura (Parsons y Johnson, 1985).

Sin embargo, Parsons y Johnson (1985) cuestionan si el incremento en el número de tallos ofrece alguna ventaja en la producción de forraje, dado que las bajas tasas de fotosíntesis limitan la producción de forraje bajo condiciones de alta presión de pastoreo, y por lo tanto, las tasas de producción de forraje disminuyen.

Por otro lado, existe información en donde se aprecia una interacción entre altura y ANF, la cual está en función de la época del año, entre otros factores. En las épocas de verano-otoño, la relación altura y ANF es positiva (a mayor altura, mayor ANF); mientras que esta relación se invierte en las épocas de invierno-primavera, en donde a menor altura es posible una mayor ANF, atribuida posiblemente por un mayor número de tallos por m² (Parsons y Johnson, 1985; Orozco, 1990).

La mayor ANF registrada en el PE-3, experimento SC (Cuadro 21), demuestra el potencial que tienen las praderas cultivadas de rye grass y trébol blanco, siempre y cuando se den condiciones adecuadas como temperatura, humedad, época del

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

año, dosis fertilización y sobre todo una altura de la pradera que asegure un IAF adecuado.

Como punto de referencia sobre la producción diaria de forraje de este tipo de praderas bajo condiciones de Inglaterra Arriaga (1985) determinó una ANF de 95 kg de MS ha⁻¹d⁻¹, producción similar a la obtenida en el PE-3 del experimento SC. Bajo condiciones de Inglaterra Holmes (1989) menciona que el potencial de praderas como las utilizadas en este experimento va de valores de 30 a 120 kg MS ha⁻¹ día⁻¹.

Como medida para estimular la producción de forraje de praderas mantenidas bajo una alta carga animal, se recomienda utilizar altas dosis de fertilización nitrogenada (Hopkins, 2000). La cantidad de nitrógeno que se utilizó para el mantenimiento de las praderas experimentales fue de 599.6 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (46 kg N cada 28 días). Este valor es cercano al máximo reportado por Hodgson (1994), bajo condiciones de carga animal similares a las del presente experimento.

Al respecto, Hopkins (2000) menciona que al aplicar una cantidad de 624 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, la respuesta en producción de forraje es de 11.9 toneladas de MS ha⁻¹ año⁻¹ (bajo condiciones de Inglaterra, en donde la producción de forraje es de sólo seis meses). De acuerdo con la metodología establecida para este trabajo, la producción estimada de forraje fue de 11.9 toneladas de MO ha⁻¹ año, considerando que bajo las condiciones del Valle de Toluca el forraje puede crecer durante los doce meses del año. Se estima que la productividad de la pradera fue afectada por las condiciones de baja altura de la pradera, como se ha explicado en los párrafos anteriores.

Por otro lado, y al margen de los factores ya discutidos es necesario mencionar que, durante la época de lluvias en el valle de Toluca, los días nublados son más frecuentes, lo que también puede influir negativamente en la producción diaria de forraje.

Al incrementarse la carga animal, la presión de pastoreo aumenta (número de animales por unidad de masa de forraje), mientras que la disponibilidad de forraje (cantidad de forraje kg MS por animal) disminuye. Por lo tanto, el nivel de competencia entre animales se incrementa. Como consecuencia, el forraje disponible por animal disminuye, así como el consumo individual, pero la eficiencia de utilización del forraje (proporción de forraje removido relativo al disponible) se incrementa (Mayne *et al.*, 2000).

La eficiencia de utilización de la pradera resultó ser baja 0.54 en promedio para los experimentos SEM y SC. No obstante, las difíciles condiciones en las que se realizaron los experimentos, tanto para los animales como para las praderas el forraje cosechado por las vacas experimentales fue un componente importante dentro de la dieta de los mismos (44 %).

En el cuadro 33 se observan los rendimientos de leche por ha⁻¹ para los tratamientos del experimento SEM, así como también se muestran los resultados del trabajo de Améndola *et al.* (2000), realizado bajo un sistema de suplementación del pastoreo con ensilado de maíz en Chapingo, Estado de México.

Los rendimientos de leche por ha⁻¹, obtenidos en el experimento SEM, fueron superiores a los obtenidos por Améndola *et al.* (2000). La principal diferencia entre la leche producida por ha⁻¹ es atribuible a menores rendimientos individuales, los cuales pudieron deberse a que estos autores reportaron una alta tasa de sustitución (1.98 ± 0.22 kg de pradera por cada kg de ensilado de maíz consumido), con lo que probablemente la contribución de la pradera en el aporte de nutrientes pudo haber sido menor.

Cuadro 33. Efecto de la suplementación con ensilado de maíz sobre la productividad por hectárea

Experimento SEM			Améndola <i>et al.</i> (2000)		
Ensilado de maíz (kg MO vaca d ⁻¹)	Vacas ha ⁻¹	Kg leche ha ⁻¹ d ⁻¹	Ensilado de maíz* (kg MS vaca d ⁻¹)	Vacas ha ⁻¹	Kg leche ha ⁻¹ d ⁻¹
3	4	75.0			
6	4	76.1	6	2.5	38.2
9	4	76.4	12	3.1	42.9
			18	3.6	51.2

* No se especifica si es en materia seca o en base húmeda

En el cuadro 34 se observan los rendimientos de leche por ha⁻¹ del experimento SC, así como los resultados de un experimento de suplementación al pastoreo con concentrados, realizado por Améndola *et al.* (2000).

Cuadro 34. Efecto de la suplementación con concentrados sobre la productividad por hectárea

Experimento suplementación con concentrados			Améndola <i>et al.</i> (2000)		
Concentrado (kg MO vaca d ⁻¹)	Vacas ha ⁻¹	Kg leche ha ⁻¹ d ⁻¹	Concentrado (kg MO vaca d ⁻¹)	Vacas ha ⁻¹	Kg leche ha ⁻¹ d ⁻¹
1	4	45.2			
3	4	50.4	2	3.9	84.0
6	4	63.2	4	5.3	122
			6	5.6	122

Respecto del experimento SC, la producción de leche por ha⁻¹ fue baja en relación con lo reportado por Améndola *et al.* (2000). La diferencia, nuevamente, se debe a los rendimientos individuales de las vacas experimentales entre ambos experimentos. Cabe recordar que las vacas del experimento SC se encontraban en segundo y tercer tercio de lactación, al igual que las vacas utilizadas por los autores anteriormente citados.

Al analizar los rendimientos de leche por ha⁻¹ (cuadro 34), se observa de manera general para ambos experimentos que éstos se incrementaron al mismo tiempo que se incrementó el nivel de suplemento utilizado; sin embargo, como ya se discutió anteriormente un nivel mayor de suplemento utilizado no se acompañó de un incremento en los márgenes económicos por lo que probablemente, desde el punto de vista económico, en el caso del trabajo de Améndola *et al.* (2000) no sea viable el utilizar altos niveles de concentrados como suplemento.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Respecto del experimento suplementación con concentrados, la repuesta a la suplementación para este experimento fue de 0.9 kg de leche por kg⁻¹ MS de concentrado. Esta respuesta fue mayor a la reportada por Leaver (1986), quien menciona una respuesta promedio de 0.32 kg de leche por kg de concentrado, observada particularmente para experimentos de corta duración.

La mayor respuesta a la suplementación obtenida en este experimento en relación con los trabajos mencionados concuerda con los argumentos propuestos por Le Du y Newberry (1982), citados por Leaver (1985), quienes indican que cuando existen condiciones restrictivas de forraje es posible obtener respuestas a la suplementación tan amplias como 2.9 a 3.5 kg de leche por kg de concentrado.

Por otra parte, trabajos de suplementación en pastoreo realizados en el Valle de Toluca a base de subproductos agroindustriales obtuvieron respuestas variables a la suplementación (Cuadro 35), las cuales se encuentran dentro del rango reportado por Leaver (1985), aunque no son económicamente viables (Arriaga *et al.*, 2000b).

Cuadro 35. Respuesta a la suplementación con concentrados por vacas lecheras en pastoreo en el Valle de Toluca

Exp	Referencia	Pastoreo (kg vaca d ⁻¹)	Pastoreo + Suplemento (kg vaca d ⁻¹)	Tipo de Suplemento (kg vaca d ⁻¹)	Respuesta (kg Leche/ kg Suplemento)
1	Mancilla y Ambrosio (1989)	10.04	11.93- Acemite 12.94- Balanceado	4.0 kg d ⁻¹ Acemite 4.0 kg d ⁻¹ Balanceado	0.60
2	Uriarte (1989)	15.0	15.5	4.0 kg d ⁻¹ Acemite	0.13
3	Espinoza y Martínez (1989)	9.11	11.1	4.0 kg d ⁻¹ Acemite	0.49
4	Castelán y Jaime (1990)	6.8	7.5	4.0 kg d ⁻¹ Acemite	0.18
5	Torres y Torres (1992)	12.0	14.0	4.0 kg d ⁻¹ Salvado	0.50

Exp = Número de experimentos de suplementación

Fuente: Arriaga *et al.* 2000

En cuanto al efecto substitutivo, existen pocos registros de su magnitud en la suplementación bajo condiciones de pastoreo, debido a las dificultades y diferencias en las estimaciones del consumo de animales en pastoreo (Améndola, 1999). La información sobre el efecto substitutivo y la respuesta a la

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

suplementación de los experimentos realizados en este trabajo contribuyen a generar este tipo de información bajo condiciones de nuestro país.

Por otro lado, el tipo de diseño experimental (Cuadro Latino) utilizado presenta una desventaja, debido a que es difícil evaluar en periodos cortos (21 días) algún efecto de los tratamientos (experimentos SEM y SC) sobre los rendimientos de leche, ganancia de peso, cambios en la condición corporal de los animales; por lo tanto es necesario realizar más experimentos al respecto mediante diseños de comparación continua que permitan la expresión de respuestas productivas a los tratamientos, y sobre todo, que provean de una respuesta clara del efecto de los niveles de suplementación sobre los rendimientos productivos y reproductivos de los animales, así como, el efecto de la suplementación sobre la carga animal y la productividad de las praderas; traducido lo anterior como "estabilidad del sistema".

Es posible que el diseño experimental utilizado, no permita evaluar de manera adecuada el efecto de los diferentes niveles de suplementación sobre variables como: peso, condición corporal, necesidades de forraje para cada tratamiento y la viabilidad de los tratamientos en periodos de tiempo más prolongados. Por lo que resulta necesario evaluar los mismos niveles de suplementación en diseños experimentales continuos en periodos largos de tiempo, que permitan obtener información sobre las implicaciones tanto en los animales (peso, condición corporal, persistencia de la lactación y reproducción) así como de las praderas (altura de pradera, producción diaria de forraje y composición química).

Por lo tanto, es posible que el nivel de suplementación recomendable en el caso del experimento SEM sea el de 9 kg de MO, mientras que en el caso del experimento SC en tratamiento SC-3 sean los tratamientos que permitan que las praderas puedan mantenerse en niveles de altura adecuados (≥ 6.0 cm), de manera que se pueda asegurar una adecuada producción diaria de forraje; así como mantener una mejor calidad de forraje (al favorecer una mayor relación de hoja sobre tallo) y de esta forma poder mantener una carga animal alta y por

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

consiguiente rendimientos de leche por hectárea mayores a los obtenidos en los experimentos SEM y SC

Desde el punto de vista económico, el bajo costo por kg de MO de ensilado de maíz y de pradera permite que los costos de alimentación sean bajos. En el caso del experimento SC, el tratamiento SC-3, de igual manera se pueden lograr un bajo costo de producción por kg de leche.

8. Conclusiones

Conclusiones del experimento suplementación con ensilado de maíz

La suplementación al pastoreo con asignaciones de entre 3.0 y 9.0 kg de MS de ensilado de maíz permite rendimientos aceptables de leche (18.8 kg vaca d⁻¹), logrando cumplir con el objetivo de bajos costos de producción y utilización eficiente de los recursos.

Un nivel de suplementación con 3.0 kg de permite obtener rendimientos de leche similares a niveles de 6.0 y 9.0 kg MS de ensilado de maíz, en periodos similares a los utilizados en este experimento; sin embargo, resulta riesgoso aplicar este nivel de suplementación en periodos mayores de tiempo en condiciones de alta carga animal (4 vacas ha⁻¹).

Dadas las fluctuaciones en la producción de forraje en las praderas, el nivel de suplementación más recomendable es aquel que se encuentra entre 6.0 y 9.0 kg de MS de ensilado de maíz, ya que permite amortiguar la disminución en la producción diaria de forraje de la pradera debida a factores medioambientales.

Aún con el tratamiento SEM-9 de suplementación con ensilado de maíz, es posible obtener bajos costos por concepto de alimentación.

El suplementar con 9 kg de MS de ensilado de maíz ocasiona un balance negativo de proteína en la dieta de las vacas lecheras.

La pradera cultivada representa un importante componente dentro de la dieta de vacas lecheras en pastoreo, aún bajo condiciones difíciles de pastoreo.

Bajo condiciones de alta presión de pastoreo, es recomendable realizar las determinaciones de acumulación neta de forraje en periodos menores a 28 días ya que las condiciones de altura de pradera dentro y fuera de las jaulas de exclusión suelen ser diferentes.

Conclusiones del experimento suplementación con concentrados

El nivel de suplementación de 1.0 kg de concentrado comercial permite obtener mayores márgenes de ganancia, no obstante los menores rendimientos de leche en lo individual, así como por hectárea. Sin embargo, la utilización de este tratamiento cuando se utiliza una carga animal de 4 vacas ha⁻¹, resulta poco viable debido a una alta presión de pastoreo que ocasiona una disminución en la altura de la pradera, y por lo tanto, una reducción importante en la producción diaria de forraje.

La suplementación con 3.0 y 6.0 kg de concentrado comercial resulta en mayores rendimientos de leche en lo individual, pero económicamente representa menores ingresos que los obtenidos al suplementar con 1.0 kg de concentrado.

La altura de la pradera menor o igual a 3.3 cm restringe el consumo voluntario de los animales en pastoreo, limitando de esta forma potenciales incrementos en los rendimientos de leche por animal y por hectárea.

La respuesta a la suplementación con concentrados fue de 0.9 kg de leche por cada kg de concentrado ofrecido, la cual se considera alta y es consecuencia directa de las condiciones restrictivas para el consumo de forraje de la pradera.

Referencias

- AFRC. Necesidades energéticas y proteicas de los rumiantes. CAB international, Editorial Acribia, España. 1993
- Albarrán PB. Evaluación del pastoreo de praderas cultivadas en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el ejido San Cristóbal, Municipio de Almoloya de Juárez. (tesis de licenciatura). Toluca (México) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UAEM, 1999.
- Albarrán PB, Arriaga JCM, Espinoza OA, Castelán OA. La Inclusión del pastoreo de praderas cultivadas en las estrategias de alimentación de sistemas campesinos de producción de leche. Memorias de la Reunión Científica, XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 1998 octubre 27-31; Querétaro (Querétaro) México. México (DF): Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria, 1998: 67.
- Alcock MB, Clark H, Harvey A. The implications of swards height for animal and herbage production from perennial ryegrass swards. In: Frame J, editor. Grazing. Occasional Symposium No. 19, British Grassland Society, 1985: 105-113.
- Alvarez A. El sistema lechero en México: Situación actual y perspectivas. Memorias de la XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 1998 octubre 27-31. Querétaro (Querétaro) México: Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria, 1998:150-164
- Améndola R. Retos y oportunidades del pastoreo de praderas templadas para la producción de leche. Memorias del III Seminario Internacional "Tecnologías para la explotación sustentable del recurso forrajero; 2000 octubre 5-6; Chapingo, México. México: Programa de Maestría en Producción animal. 2000:13-48
- Améndola MRD, Sánchez RC. Suplementación en sistemas intensivos. Importancia del efecto sustitutivo. Memorias del II Seminario Internacional "Estrategias de suplementación a bovinos en pastoreo"; 1999 octubre 28 – 29 Chapingo, México. México. Programa de Maestría en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo; 1999:109-134.
- Améndola MRD, Martínez CM. Digestibilidad *in situ* de variedades de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Memorias de la XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Reunión Científica. 1998 octubre 27-31; Querétaro, (Querétaro) México, 1998: 42.

- Améndola MRD. Producción de leche en pastoreo: en búsqueda de la sostenibilidad. Boletín informativo Agritec NZ, Embajada de Nueva Zelanda en México. 1996;1: 4-5.
- Arriaga JC, Espinoza OA, Albarrán PB, García MA, Espinosa AE, Ruiz AM, Carrasco RC, Olvera RR y Hernández LMA. (2001): Investigación y desarrollo participativo de estrategias de alimentación apropiadas para sistemas de producción de leche en pequeña escala. Segundo Informe Parcial. 1º de abril de 2000 al 28 de febrero de 2001. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias (CICA). Coordinación General de Investigación y Estudios Avanzados. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Arriaga JC, Espinoza OA, Albarrán PB, Castelán OA. Perspectivas y retos de la producción de leche en pequeña escala en el centro de México. En: Yúnez-Nauze A, (compilador). Los pequeños productores rurales en México: las reformas y las opciones. El Colegio de México, 2000a:219-259.
- Arriaga JC, Espinoza OA, Albarrán PB, García MA, Castelán OA. Análisis económico de un módulo demostrativo en producción de leche en pastoreo para sistemas campesinos de producción de leche. Memorias de XXXVI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 2000 noviembre 7-10; Hermosillo (Sonora) México, 2000b: 304
- Arriaga JC, Espinoza OA, Albarrán PB, Castelán OO. Producción de leche en pastoreo de praderas cultivadas: una alternativa para el Altiplano Central. *Ciencia ergo sum*. Revista de ciencia, tecnología y humanismo de la Universidad Autónoma del Estado de México; 6 (3) 1999: 290-300.
- Arriaga JCM, Espinoza OA, Castelán OA, Rojo GH, Valdés JL, Albarrán PB. Resultados en el mejoramiento participativo de sistemas campesinos de producción de leche en el Valle de Toluca. En: Rivera Herrejón G, Arellano A, González L, Arriaga CM. (Coords). Investigación para el desarrollo rural: Diez años de experiencias del CICA. Coordinación General de Investigación y Estudios de Posgrado. U.A.E.M, 1997a: 319-351.
- Arriaga JCM, González JG, González CE, Nava GE, Velázquez LG. Caracterización de los sistemas de producción campesinos en dos zonas de San Felipe del Progreso, México: Estrategias Contrastantes. En: Rivera Herrejón G, Arellano A, González L, Arriaga CM. (Coords). Investigación para el desarrollo rural: Diez años de experiencias del CICA. Toluca (México): Coordinación General de Investigación y Estudios de Posgrado. U.A.E.M, 1997b:171-197.
- Arriaga JCM, Espinoza OA, Rojo GH, Valdés JL. Investigación/extensión participativa en sistemas de producción de leche en el ejido de San Cristóbal, Municipio de Almoloya de Juárez, Estado de México. Informe

- académico final, Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias UAEM, 1996.
- Arriaga JCM, Holmes W. The effect of cereal concentrate supplementation on high yielding dairy cows under two systems of grazing. *J Agri Sci Camb* 1986; 107:453-461.
- Arriaga-Jordán CM. Studies on the response to supplementation by dairy cows at pasture (tesis de doctorado). Wye College University of London. 1985
- Arriaga JCM. Efecto de la suplementación con concentrado en la producción de leche de vacas en pastoreo intensivo de praderas irrigadas (tesis de licenciatura). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. U.N.A.M. 1979
- Bath DL, Dickinson FN, Turner HD. Ganado lechero, principios y prácticas, problemas y beneficios. Interamericana. 2ª. Ed. México. 1982
- Beever DE, Offer N, y Gill M. The feeding value of grass and grass products En: Hopkins A. Editor. Grass its production and utilization. British Grassland Society, Blackwell Science, 2000: 140-195
- Brisson GJ. Indicator methods for estimating the amount of forage consumed by grazing animals. Proc. 8 th. Int. Grassland Congres 1960
- Burns JC, Pond KR, Fisher DS. Measurement of forage intake. En: G.C. Fahey, Jr. *et al* (eds.) Forage Quality Evaluation and Utilization. ASA, SSSC, Maddison, Wisconsin, USA., 1992: 494-532.
- Ceballos G. El reto a la autosuficiencia lechera. *Acontecer Bovino*, 1995; 1: 4-14.
- Corbett JL, Fecal-index techniques for estimating herbage consumption by grazing animals. Proc. 8th. Int. Grassland congress., Reading, England 1969;438
- Cruicksank, J.G., D.P. Poppi and A.R. Sykes. Some factors affecting the accuracy of estimation of nutrient supply in grazing animals. Proc. 4 th. AAAP Conference, Hamilton, New Zealand: 1978; 322.
- Delagarde R, Peyraud JL, Delay L. The effect of nitrogen fertilization level and protein supplementation on herbage intake, feeding behaviour and digestion in grazing dairy cows. *Animal Feed Science and technology*, 1997; 66:165-180
- Dillon JL, Hardaker JB. Farm Management Research for Small Farmers Development. FAO Farm Systems Management Series. Department of Agricultural Economics and Business Management, University of New England. Armindale, Australia. FAO. Rome, 1993.
- East of Scotland College of Agriculture (ESCA). Condition score of cattle. Bulletin No.6.1976.

- Espinoza OA, Arriaga JCM, Castelán OA. Análisis económico de la producción campesina de leche en el Valle de Toluca. Memorias de la XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 1998 octubre 27-31; Querétaro (Querétaro) México: Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria, 1998: 167.
- Espinoza OA, Martínez HM. Respuesta a la suplementación con acemite de trigo por vacas lecheras en su primer tercio de lactación (tesis de licenciatura). Toluca (México) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. U.A.E.M, 1989.
- Ferrer R, Petit M, D'hour P. The effect of sward height on grazing behaviour and herbage intake of three sizes of Charolais cattle grazing cocksfoot (*Dactylis glomerata*) swards. Anim Sci 1995;61:497-506.
- Fisher GEJ, Dowdeswell AM. The performance of Summer calving cows grazing perennial ryegrass sward. Grass and Forage Sci 1995; 50:315-323.
- Fitzgerald JJ, Murphy JJ. A comparison of low starch maize silage and grass silage and the effect of concentrate supplementation of forages or inclusion of maize grain with maize silage on milk production by dairy cows. Livest Prod Sci, 1999, 57:95 -111
- Foldager J, Haarbo K. Effect of breed and feeding intensity during rearing on the feed intake capacity of first lactation dairy cows. Livest Prod Sci 1994; 39:39-42.
- Forbes JM. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. Wallingford, Oxon OX10 8DE, UK. CAB International. 1995.
- Frame J. Improved grassland management. Wharfedale Road, Ipswich Ip1 4Lg, UK. Farming Press. 1994.
- Freer M. The control of food intake by grazing animals. En: F H.W. Morely (ed.) Grazing Animals. World Animal Sci, B1, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 1981; 105-120.
- García LA. Las importaciones mexicanas de leche descremada en polvo en el contexto del mercado mundial y regional. 2 ed. México (DF). Universidad Autónoma Metropolitana, 1996.
- García LA, Alvarez A, Martínez E, Del Valle R. Marcos internacionales, e interrelaciones de los sistemas nacionales lecheros de América del Norte. Memorias del "II Seminario internacional sobre los sistemas lecheros de América del Norte" 1997 enero 22-24; México (DF). F.M.V.Z. U.N.A.M.,

Instituto de Investigaciones Económicas, Instituto de Investigaciones Sociales UAM-Xochimilco, 1997:1-10.

Gibb MJ, Huckle CA, Nuthall JW, Rook AJ. Effect of sward surface height on intake and grazing behaviour by lactating Holstein Friesian cows. *Grass and Forage Sci.* 1997,52(3):309-321.

González PE. Políticas de generación, adaptación y transferencia de tecnología lechera en México. Memorias del "II Seminario internacional sobre los sistemas lecheros de América del Norte" 1997 enero 22-24; México (DF). F.M.V.Z. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, Instituto de Investigaciones Sociales UAM-Xochimilco, 1997: 36-53.

Hameleers A. The effects of the inclusion of either maize silage, fermented whole crop wheat or urea-treated whole crop wheat in a diet based on high-quality grass silage on the performance of dairy cows. *Grass and Forage Sci.* 1998;53:157-163.

Hanley TA. The nutritional basis for food selection by ungulates. *J Range Manage.* 1982; 38 (4): 305-311.

Hardison WA, Reid JT. Use of indicators in the measurement of the dry matter intake of grazing animals. *J Nutr* 1953; 51-55.

Herrero M, Dent JB, Fawcett RH. The plant-animal interface in models of grazing systems. In: *Agricultural Systems Modelling and Simulation*. Currie B and Peart R. (editors). Marcel Dekker, NY. 1998: 495-542.

Hodgson J. Manejo de pastos. Teoría y práctica. México, D.F: Editorial Diana, 1994.

Hopkins A. Herbage production. In: Hopkins A. Editor. *Grass its production and utilization*. British Grassland Society, Blackwell Science, 2000: 90-110

Holmes W. *Grass: its production and utilization*. British Grassland Society. Blackwell Scientific Publications. UK. 1989.

Ingvartsen KL. Models of voluntary food intake in cattle. *Livest Prod Sci.* 1994; 39:19-38.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Estados Unidos Mexicanos: Resultados definitivos. VII Censo Agrícola -Ganadero. Tomos I-II. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México (DF), 1994.

- Jackson DA, Johnson CL, Forbes JM. The effect of composition and silage characteristics on silage, feeding behaviour, production of milk and live-weight change in lactation dairy cows 1991, 52: 11-19.
- Jaime AO, Castelán OA. Respuesta a la suplementación con acemite de trigo, por vacas lecheras Holstein en su segundo tercio de lactación bajo pastoreo continuo intensivo en época de verano-otoño en el Valle de Toluca. (tesis de licenciatura). Toluca, Edo, de Méx. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia U.A.E.M.1990.
- Kameoka K, Takahashi S, Morimoto H. Variation in the excretion of chromic oxide by ruminants. J Dairy Sci 1956;37 (4):263.
- Kane EA, Jacobson WC, Moore LA. Diurnal variation in the excretion of chromium oxide and lignin. J. Nutr. 1952; 47 (2):263
- Kotb AR, Luckey TD. Markers in nutrition. Nutr Abstr Rev 1972; 42 (3):813
- Krysl LJ, Hess BW. Influence of supplementation on behavior of grazing cattle. J Ani Sci. 1993; 71:2546-255
- Krysl LJ, Hess BW. Influence of supplementation on behavior of grazing cattle. J Anim Sci. 1993; 71:2546-2555.
- Laredo MA, Minson DJ. The voluntary intake, digestibility, and retention time by sheep of leaf and stem fraction of five grasses. Aust J Agr Res. 24. 91-102.
- Larrondo E. Organizaciones de productores. Memorias del "II Seminario internacional sobre los sistemas lecheros de América del Norte" 1997, México (DF). F.M.V.Z. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, Instituto de Investigaciones Sociales UAM-Xochimilco, 1997:80-96
- Lascano CE, Rolain B, Quiroz R, Zorrilla J, Chávez C, Wernli C. Recomendaciones sobre metodología para la medición de consumo y digestibilidad *in vivo*. En: Nutrición de rumiantes. Guía metodológica de investigación. Por: Ruiz EM. y Ruiz A. 317-339. Asociación Latinoamericana de Producción Animal de Latinoamérica (ALPA) Costa Rica, 1990.
- Le Du YLP, Newberry RD. Supplementing the grazing dairy cows during periods of pastures restriction. Grass and Forage Sci; 1982: 37,173-174.
- Le Du YLP, Penning PD. Animal based techniques for estimating herbage intake. En: Leaver JD. (Editor), Herbage Intake Handbook. British Grassland Society., Berkshire;1982: 37-75.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Leaver JD. Effects of supplements of herbage intake and performance. In: Frame J, Editor. Grazing. Occasional Symposium No. 19, British Grassland Society, 1985: 79-88.
- Leaver JD, Hill J. The performance of dairy cows offered ensiled whole crop wheat urea-treated whole crop wheat or sodium hydroxide treated wheat grain and wheat straw in mixture with grass silage. *Anim Sci.* 1995;61:481-489.
- Liebhardt WC. The dairy debate: Consequences of bovine growth hormone and rotational grazing technologies. Sustainable Agriculture Research and Education Program. University of California, Davis California; 372.
- Loera EH. Al trópico el grueso de la producción de leche. *Carne y Leche, Ganadería Intensiva.* septiembre-octubre, 1996.
- López TQ. La ganadería lechera en el municipio de Texcoco, México. En: 2º Coloquio Regional de Investigación, Tecnología y Ciencias Agropecuarias; Toluca, México. F.M.V.Z., Facultad de Ciencias Agrícolas. U.A.E.M. 1996
- MAFF. Energy allowances and feeding systems for ruminants, ADAS reference book 433, HMSO, London. 1980.
- Malossini F, Bovolenta S, Piasentier E, Piras C, Martillotti F. Comparison of n-alkanes chromium oxide methods for estimating herbage intake by grazing dairy cows. *Anim Feed Sci and Tech*, 1996;61:155-165
- Martínez MA; Améndola RD. Suplementación con ensilado de maíz a vacas lecheras en pastoreo. XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Querétaro, Querétaro (México) 27- 31 octubre, 1998: 42
- Mayne CS, Wright IA, y Fisher GEJ. Grassland Management under grazing and animal response. In: Hopkins A. editor. Grass its production and utilization. British Grassland Society, Blackwell Science, 2000: 247-291.
- McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD. Animal Nutrition. English Language Book Society/Longman, UK. 1987.
- Meijs JAC. Herbage intake by dairy cows. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, UK. 1981
- Menke HK, Steingass H. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Research Development*, 1988; (28) 8-55.

- Mertens DR. Regulation of forage intake. En: Fahey JR *et al* (eds), Forage Quality, Evaluation and Utilization. ASA, CSSA, SSSC, Madison, Wisconsin, USA. 1994:450-493.
- Mosquera LR, González RA. Effect of annual stocking rate in grass and maize+rye systems on production by dairy cows. *Grass and Forage Sci*, 1998;53:95-108.
- Muñoz M, Odermatt P, Altamirano J. Retos y oportunidades del sistema lechero ante la apertura comercial. Reporte de investigación No. 29. Texcoco (México) México, C.I.E.S.T.A.A.M. Universidad Autónoma Chapingo, 1995.
- Muñoz M, Altamirano C, Juárez D. ¿TLC y Lácteos: Funciona el experimento? Reporte de investigación 34. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. Chapingo (México) Universidad Autónoma Chapingo, 1997.
- Murphy B. Pasture management to sustain agriculture. Altieri M. *Agroecology* (2nd ed.) Westview Press Intermediate Technology Publications. Boulder, Colorado/London. 1995.
- Muslera PE, Ratera GC. Praderas y forrajes. producción y aprovechamiento 2nd ed. Ediciones Mundiprensa España. 1991.
- O'Mara FP, Fitzgerald JJ, Murphy JJ, Rath M. The effect on milk production of replacing grass silage with maize silage in the diet of dairy cows. *Livest Prod Sci*. 1998: 79-87
- Orozco M. Efecto del tipo de pradera sobre la producción de vacas Holstein en pastoreo continuo intensivo en época de primavera (tesis de licenciatura). Toluca, Estado de México. México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. U.A.E.M. 1990.
- Ortiz G, Piña B, Martínez JL. El modelo GGAVATT como estrategia para incrementar la producción de leche en pastoreo, en la región montañosa de Veracruz. Acatlán, Veracruz. Memorias Seminario-Taller Nacional en Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala. 1997 enero 28-30; Toluca (México). Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UAEM, 1997: 45-51.
- Parsons AJ, Johnson IR. The physiology of grass growth under grazing. In: Frame J, editor. *Grazing. Occasional Symposium No. 19*, British Grassland Society, 1985: 3-13
- Peralta M, Lastra I. Programa de producción de leche y de sustitución de las importaciones. Memorias del "II Seminario internacional sobre los sistemas

- lecheros de América del Norte" 1997 enero 22-24; México (DF). F.M.V.Z. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, Instituto de Investigaciones Sociales UAM-Xochimilco, 1997:150-161.
- Pérez ER. Productos agropecuarios: Situación actual y perspectivas. En: Calva JL (Coordinador). Alternativas para el campo mexicano. Fontamara; Oual-UNAM, Fundación Friedrich Ebert Representación en México. 1993;1:171-1921
- Persaud P, Simm G, Neilson R, Parkinson H, McGuirk BJ. Predicting food intake in dairy heifers from early lactation records. *Anim Prod.* 1991; 52:421-434.
- Peyraud JL, Delay L. The effect of nitrogen fertilization level and protein supplementation on herbage intake, feeding behaviour and digestion in grazing dairy cows. *Animal Feed Sci and technology*, 1997; 66:165-180
- Phillips CJC, James NL. The effects of including white clover in perennial ryegrass swards and the height of mixed swards on the milk production, swards selection and ingestive behaviour of dairy cows. *Anim Sci* 1998; 67:195-202.
- Phipps RH, Weller Rf, Rook AJ. Forage mixtures for dairy cows: the effect on dry matter intake and milk production of incorporating different proportions of maize silage into diets based on grass silages of differing energy value. *J. Agric. Sci., Camb*, 1992, 118:379-382.
- Pigden WJ, Brisson GJ. Effect of frequency of administration of chromic oxide on its fecal excretion pattern by grazing wethers. *Can J Anim Sci* 1956; 36:146
- Popp JD, McCaughey WP. Cohen RDH. Effect of grazing system, stocking rate and season of use on herbage intake and grazing behaviour of stoker cattle grazing alfalfa-grass pastures. *Can. J Anim Sci* 1997; 77:677-682.
- Quintanar GE, Domínguez VI. Evaluación de una pradera de ballico perenne (*Lolium perenne*) bajo pastoreo continuo intensivo por vacas lecheras en primavera-verano (tesis de licenciatura) Toluca (México) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UAEM, 1988.
- Ramírez C. Globalización, neoliberalismo y estrategias de los actores regionales en la agricultura mexicana (tesis de doctorado). México D.F. Universidad Autónoma Metropolitana -Xochimilco, 1997.
- Reid JT, Kennedy WK. Measurement of forage intake by grazing animals. *Proc. 7th. Int. Grassland Congr., Palmerston North, New Zealand* 1956: 11.
- Reijntjes C, Haverkort B, Waters-Bayer A. Farming for the future: An introduction to low-external-input and sustainable agriculture. London: Macmillan Press and ILEA, 1992.

- Raymond WF, Minson DJ. The use of chromium oxide for estimating the fecal production of grazing animals. *J. Br. Grasslands Soc.* 1955;10 (4) :282
- Rook AJ, Huckle CA, Wilkins RJ. The effects of sward height and concentrate supplementation on the performance of spring calving dairy cows grazing perennial ryegrass-white clover swards. *Grass and Forage Sci* 1994; 58: 167-172.
- Ruiz EM. Desarrollo de sistemas de alimentación: Marco conceptual. En: Nutrición de rumiantes. Guía metodológica de investigación. Por: Ruiz EM. y Ruiz A (editores). 249-258. Asociación Latinoamericana de Producción Animal de Latinoamérica (ALPA) Costa Rica, 1990.
- Smith AM, Reid JT. Use the chromium oxide as an indicator of fecal output for the purpose of determining the intake of pasture herbage by grazing cows. *J. Dairy Sci* 1955; 38 (5):515.
- Sutton JD, Aston K, Beever DE, Fisher WJ. Milk production from grass silage diets: the relative importance of the amounts of energy and crude protein in the concentrates. *Anim Prod* 1994;59:327-334
- Tejada de Hernández I. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. México (DF): Sistema de Educación Continua en Producción Animal, A.C., 1992.
- Tesfa TA, Virkajärvi P, Tuori M, Syrjälä-Qvist L. Effects of supplementary concentrate composition on milk yield, milk composition and pasture utilization of rotational grazed dairy cows. *Anim Feed Sci and Tech.* 1995; 56: 143-154.
- Thomas C, Young JWO. Milk from grass. Grassland Research Institute (GRI), Imperial Chemical Industries (ICI). Billingham Press Ltd, London, 1982.
- Thomas PC, Rook JAF. Milk Production. In: Thomas PC, Rook JAF. (editors) Nutritional Physiology of farm animals. Longman, London and New York. 1983: 558-622
- Thomson DJ. The nutritive value of white clover. (ed.) En: Forage Legumes. Occ. Symp. No. 16 British Grassland Society, Hurley. 1984: 78-92.
- Tilley RG, Terry RA. A two-stages technique for *in vitro* digestion of forage crops. *J. Brit.Grass. Society* 1963;18:104
- Torres VS, Torres FN. Efecto del tipo de pradera y de la suplementación con salvado de trigo sobre la producción de leche de vacas Holstein pastoreando praderas irrigadas en época de primavera-verano en el Valle

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de Toluca. (tesis de licenciatura). Toluca, Edo, de Méx. México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. U.A.E.M. 1992.

Tzintzun R, García A, Garcidueñas A, Méndez D, Sánchez Y, Fernández L. La lechería familiar en la "Región Morelia" del Estado de Michoacán. Proyecto de Vinculación Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Sector Productivo. Memorias Seminario-Taller Nacional en Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala. 1997 enero 28-30; Toluca (México). Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UAEM, 1997: 30-31

Uden P, Colucci PE, Van Soest PJ. Investigation of Cr,Ce and Co as markers in digesta. Rate of passage studies. J Sci Food Agric. 1980; 31:625-632.

Uriarte AE. Respuesta a la suplementación con acemite de trigo, por vacas lecheras en el primer tercio de lactación en pastoreo continuo intensivo en praderas de *Lolium perenne* en primavera -verano. (tesis de licenciatura). Toluca, Edo, de Méx. México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. U.A.E.M. 1989.

Villa CI, Castelán O, Arriaga CM. La diversidad de la producción agrícola y su relación con el desarrollo de los sistemas campesinos de producción de leche en Tenango del Valle, México. Memorias del Seminario Mesoamericano sobre Agrodiversidad en Agricultura Campesina. 1998 abril 28-30. Toluca (México): Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrícolas. U.A.E.M., 1998.

Weiss W. Estimation of digestibility of forages by laboratory methods. En: Fahey G, editor. Forage quality, evaluation, and utilization. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society Of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 1994.

Wiggins S, Tzintzun RR, Ramírez GM, Ramírez GR, Ramírez FJ, Ortiz OG, Piña CB, Aguilar BU, Espinoza OA, Pedraza FAM, Rivera HG, Arriaga JC. Costos y retornos de la producción de leche en pequeña escala en la zona central de México. La lechería como empresa. Cuaderno de Investigación. Cuarta época/19. Universidad Autónoma del Estado de México, 2001.

Wilkins RJ, Gibb MJ, Huckle CA. Lactation performance of Spring-calving dairy cows grazing mixed perennial ryegrass/ white clover swards of differing composition and height. Grass and Forage Sci. 1994; 50:199-208.

Wilkinson JM. Milk and meat from grass. Granada, London, 1984.

Woodward SJR. Bite mechanics of cattle and sheep grazing grass-dominant swards. Appl. Anim Behav Sci 1998; 56:203-222.

Zorrilla RJ. Propuesta metodológica para la investigación pecuaria en fincas de productores. En. Nutrición de rumiantes. Guía metodológica de investigación. Ruiz EM. y Ruiz A. (editores) 317-339. Asociación Latinoamericana de Producción Animal de Latinoamérica (ALPA) Costa Rica, 1990

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Anexos

Anexo 1 Cuadro de ANDEVA para el consumo total de MO determinado (Cr_2O_3) por vaca por día para los tratamientos Experimento SEM

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia
Cuadros	11.82	1	11.82	14.69	0.00
Vacas dentro de cuadro	15.25	4	3.81	4.73	0.03
Periodo	8.93	2	4.46	5.54	0.03
Tratamiento	3.10	2	1.55	1.92	0.20
Error	6.43	8	0.80		
Total	45.55	17			

Anexo 2. Cuadro de ANDEVA para el consumo de ensilado de maíz (kg MO d^{-1}) experimento SEM, obtenido a partir de datos de consumo determinados (Cr_2O_3)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia
Cuadros	0.91	1	0.91	2.90	0.12
Vacas dentro de cuadro	0.80	4	0.20	0.63	0.65
Periodo	1.70	2	0.85	2.70	0.12
Tratamiento	47.67	2	23.83	75.44	0.00
Error	2.52	8	0.31		
Total	53.62	17			

Anexo 3. Cuadro de ANDEVA para el consumo de pradera experimento SEM, obtenido a partir de datos de consumo determinados (Cr_2O_3)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia
Cuadros	6.21	1	6.21	5.58	0.04
Vacas dentro de cuadro	20.88	4	5.22	4.68	0.03
Periodo	5.55	2	2.77	2.49	0.14
Tratamiento	30.95	2	15.47	13.88	0.00
Error	8.91	8	1.11		
Total	72.52	17			

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

108

Anexo 4. Cuadro de ANDEVA para los rendimientos de leche experimento SEM

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia
Cuadros	293 112	1	58 622	40 157	0 0
Vacas dentro de cuadro	0.000	4	0	0	0 0
Periodo	0.772	2	0 386	0 265	0.774
Tratamiento	0 609	2	0 305	0 209	0 816
Error	11 679	8	1.460		
Total	306.172	17			

Anexo 5. Cuadro de ANDEVA para la concentración de grasa en la leche, experimento SEM

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia
Cuadros	3 556	1	3.556	0.645	0.445
Vacas dentro de cuadro	252 222	4	63 056	11 436	0.002
Periodo	115.111	2	57 556	10 436	0.006
Tratamiento	7.444	2	3 722	0 675	0 536
Error	44.111	8	5.514		
Total	422 444	17			

Anexo 6. Cuadro de ANDEVA para la concentración de proteína en la leche, experimento SEM

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia
Cuadros	111.452	1	111 452	22.879	0.001
Vacas dentro de cuadro	211 229	4	52 807	10 840	0.003
Periodo	13.427	2	6 713	1.378	0.306
Tratamiento	6 113	2	3 057	0.627	0.558
Error	38.971	8	4 871		
Total	381 193	17			

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Anexo 7. Cuadro de ANDEVA para peso vivo, experimento SEM

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia
Cuadros	3841.261	1	3841.261	4.107	0.077
Vacas dentro de cuadro	25877.909	4	6469.477	6.917	0.010
Periodo	740.865	2	370.433	0.396	0.685
Tratamiento	248.299	2	124.149	0.133	0.878
Error	7482.398	8	935.289		
Total	38190.642	17			

Anexo 8. Cuadro de ANDEVA para consumo total de MO, experimento SC

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia
Cuadros	4.00	1	4.00	2.36	0.016
Vacas dentro de cuadro	10.31	4	2.57	1.52	0.28
Periodo	15.36	2	7.68	4.53	0.04
Tratamiento	7.49	2	3.74	2.21	0.17
Error	13.53	8	1.69		
Total	50.71	17			

Anexo 9. Cuadro de ANDEVA para consumo de pradera, experimento SC

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia
Cuadros	4.04	1	4.04	2.37	0.16
Vacas dentro de cuadro	10.22	4	2.55	1.50	0.28
Periodo	15.26	2	7.63	4.49	0.04
Tratamiento	59.18	2	29.59	17.40	0.001
Error	13.60	8	1.70		
Total	102.2				

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

110