

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**PRODUCTIVIDAD DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO SUPLEMENTADAS CON
DIFERENTE NIVEL DE CONCENTRADO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN

PRODUCCIÓN ANIMAL



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

FELICIANO MARTÍNEZ VALENZUELA



BIBLIOTECA CENTRAL U. A. C.

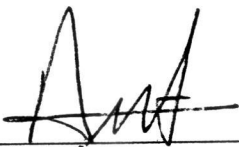
Agosto del 2001
Chapingo, Estado de México

961581

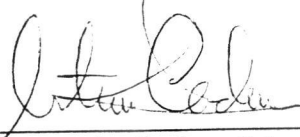
**PRODUCTIVIDAD DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO
SUPLEMENTADAS CON DIFERENTE NIVEL DE
CONCENTRADO**

Tesis realizada por Feliciano Martínez Valenzuela bajo la dirección del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como
requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR: 
Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR: 
Ph. D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR: 
Dr. José Artemio Cadena Meneses

38534

**PRODUCTIVIDAD DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO
SUPLEMENTADAS CON DIFERENTE NIVEL DE
CONCENTRADO**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Feliciano
Martínez Valenzuela** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias
en Producción Animal estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



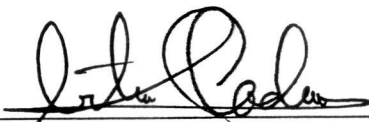
Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR:



Ph. D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR:



Dr. José Artemio Cadena Meneses

DEDICATORIAS

A dios por permitirme alcanzar una más de mis metas.

A mis padres Antonia Valenzuela y Feliciano Martínez †,

A la memoria de mi abuelita Josefa Valles †

A la razón de mi vida: mi esposa Jannet Olivia Zamora Álvarez
y mi hija América María Martínez Zamora

A toda mi familia y la de mi esposa.

A todos mis amigos y a mis compañeros del Posgrado en
Producción Animal.

A todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a la
realización del presente trabajo.

Feliciano

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal, por permitirme alcanzar una de mis metas en la vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento brindado para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Ph D. Pedro Arturo Martínez Hernández, por la dirección del trabajo, por el gran apoyo brindado y por la formación personal dada.

Al Ph D. Ricardo Daniel Améndola Massiotti, por el incondicional e inmenso apoyo brindado y por compartirme parte de sus conocimientos sin egoísmo alguno.

Al Ph D. José Guadalupe García Muñiz y al Dr. José Artemio Cadena Meneses, por sus valiosas observaciones y recomendaciones para mejorar el presente trabajo.

Al Dr. Ricardo Barcenas y al M.C. Carlos Sánchez del Real, por el gran apoyo, asesoría y recomendaciones para la formulación del concentrado y la mezcla mineral.

Al los grupos de sexto año gen. 2001, mis paisanos que realizaron servicio social, a Toño, Meche, Sergio y Enrique,

Gracias

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos Generales:

Nombre: Feliciano Martínez Valenzuela

Lugar de Origen: Miguel Auza, Zacatecas.

Fecha de nacimiento: 27 de Abril de 1975

Formación Académica

Primaria: Esc. Gral. Heriberto Jara. Miguel Auza, Zac. (1981-1987)

Secundaria: Esc. Sec. Téc. No. 2. Miguel Auza Zac. (1987-1990)

Preparatoria: Preparatoria Agrícola Chapingo Méx. (1990-1993)

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx.
(1993-1997).

RESUMEN

Martínez V. F.; Martínez H.P.A.; Améndola M.R.D.

PRODUCTIVIDAD DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO SUPLEMENTADAS CON NIVEL DISTINTO DE CONCENTRADO

(Agosto, 2001)

Se evaluó el efecto de la suplementación con concentrado sobre los principales componentes de un sistema de producción de leche bajo pastoreo de alfalfa-ovillo y avena-ballico. Los tratamientos consistieron en ofrecer 0, 2, 4 y 6 kg vaca⁻¹día⁻¹. Las vacas recibieron 4.32 kg MS de ensilado de maíz, mezclado con el concentrado. Las principales variables de respuesta fueron carga animal y producción de leche por hectárea. El diseño experimental fue completamente al azar, analizando las variables respuesta con modelos mixtos. Los resultados mostraron un incremento ($P<0.05$) en carga animal, producción de leche individual y por hectárea cuando se suplementó 4 ó 6 kg concentrado. Se concluyó que el suplementar 4 ó 6 kg concentrado vaca⁻¹ día⁻¹ incrementó carga animal 31% y la viabilidad económica de la suplementación con concentrado con base al concentrado utilizado se ubica en 4 kg, donde se maximizó respuesta en leche y beneficio económico por hectárea.

Palabras clave: suplementación, concentrado, pastoreo, vacas lecheras.

SUMMARY

Martínez V. F.; Martínez H.P.A.; Améndola M.R.D.

PRODUCTIVITY OF GRAZING DAIRY COWS WITH DIFFERENT LEVELS OF SUPPLEMENTARY FEEDING WITH CONCENTRATES.

(August 2001)

An experiment was carried out to evaluate the effect on productivity of feeding 0, 2, 4 and 6 kg of concentrates $\text{cow}^{-1} \text{d}^{-1}$ to dairy cows grazing alfalfa-orchard grass pastures and oats-annual ryegrass pastures. Cows were also supplementary fed with 4.32 kg dry matter (DM) of maize silage per cow daily. Grazing was managed in order to achieve the same residual herbage mass irrespective of the level of supplementary feeding. Herbage intake was lower and stocking rate was higher ($P < 0.05$) with 4 and 6 kg of concentrate. Milk production per cow, milk production per hectare and the response to supplementary feeding were highest with 4 and 6 kg of concentrate (23 kg milk $\text{cow}^{-1} \text{d}^{-1}$, 108 kg milk $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ and 1.4 kg milk kg concentrate $^{-1}$, respectively). Considering the concentrate:milk price ratio (0.71), supplementary feeding with 4 kg of concentrates $\text{cow}^{-1} \text{d}^{-1}$ yielded the highest net revenue.

Key words: supplementary feeding, concentrates, grazing, dairy cows.

CONTENIDO	<u>Página</u>
INDICE DE CUADROS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1 Situación y perspectivas de la producción de leche en México	2
2.2 Antecedentes y algunas características de alfalfa-ovillo.....	3
2.2.1 Masa de forraje en alfalfa-ovillo	3
2.2.2 Valor nutritivo y composición botánica.....	5
2.3 Avena-ballico anual	6
2.3.1 Establecimiento	7
2.3.2 Producción de forraje, composición botánica y valor nutritivo	7
2.3.3 Respuesta a la fertilización nitrogenada.....	10
2.4 Circunstancias y aspectos a considerar al suplementar con concentrado a animales en pastoreo	10
2.4.1 Suplementación con ensilado de maíz	11
2.4.1.1 Producción de leche	12
2.4.1.2 Efecto sustitutivo del ensilado por el forraje cosechado.....	13
2.4.1.3 Comportamiento ingestivo de vacas lecheras suplementadas con ensilado de maíz	15
2.4.1.4 Carga animal con la suplementación de ensilado de maíz.....	16
2.4.2 Suplementación con concentrados	16
2.4.2.1 Respuestas en producción de leche a la suplementación	17
2.4.2.2 Factores que afectan la respuesta a la suplementación con concentrado	19
2.4.2.2.1 Disponibilidad de forraje	19
2.4.2.2.2 Potencial genético de la vaca y etapa de lactancia.....	20
2.4.2.3 Efecto sustitutivo.....	21
2.4.2.4 Proporción leguminosa:gramínea	23

2.4.2.5 Composición de la leche	23
2.4.2.6 Efecto de la suplementación con concentrado sobre algunos componentes de la digestión	26
2.4.2.7 Comportamiento ingestivo	27
2.4.2.8 Carga animal en vacas suplementadas con concentrado	30
2.4.2.9 Cambios de peso vivo y condición corporal	31
2.5. HIPÓTESIS	33
3. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1 Localización y duración del experimento	34
3.2 Clima	34
3.3 Tratamientos y diseño experimental	34
3.4 Proporción de ingredientes y composición estimada del concentrado utilizado....	34
3.5 Áreas para el pastoreo	35
3.6 Manejo del pastoreo	36
3.7 Animales y rutina de manejo	37
3.8 Periodo experimental	38
3.9 Variables de respuesta medidas y calculadas	38
3.9.1 Masa de forraje ofrecido y residual	39
3.9.2 Composición botánica y morfológica	40
3.9.3 Producción de leche individual	40
3.9.4 Composición de la leche	40
3.9.5 Consumo de concentrado y ensilado	41
3.9.6 Comportamiento ingestivo	41
3.9.7 Peso vivo (PV) y cambios de peso vivo	41
3.9.8 Forraje desaparecido (FD)	41
3.9.9 Tasa de desaparición de forraje (TDF)	42
3.9.10 Grado de defoliación (GD)	42
3.9.11 Asignación diaria de forraje (ADF)	42
3.9.12 Carga animal (CA)	42

3.9.13 Producción de leche por hectárea.....	42
3.9.14 Consumo de forraje (CF) y consumo total (CT).....	43
3.10 Preparación de muestras para análisis de laboratorio	44
3.11 Análisis de laboratorio	45
3.11.1 Muestras de forraje.....	45
3.11.2. Muestras de heces	45
3.12 Manejo y análisis estadístico de los datos.....	45
3.12.1 Técnicas indirectas de muestreo para estimar masa de forraje	45
3.12.2 Análisis de las variables de respuesta	46
3.12.3 Modelos estadísticos usados	48
4. RESULTADOS.....	52
4.1 Masa de forraje ofrecido y residual.....	52
4.2 Composición botánica y morfológica de la masa de forraje ofrecido.....	54
4.3 Interrelaciones Pradera Animal.....	57
4.4 Grado de defoliación	58
4.6 Atributos del comportamiento animal.....	59
4.7 Comportamiento ingestivo de vacas lecheras en pastoreo.....	61
4.7.1 Actividades de vacas lecheras en pastoreo de avena-ballico anual y alfalfa-ovillo	61
4.7.2 Tasa de bocados y bocados totales.....	67
4.8 Consumo de forraje y materia seca total y tasa de sustitución.....	71
5. DISCUSIÓN	75
5.1 Estimación y características de la masa de forraje.....	75
5.2 Características del ensilado y composición.....	78
5.3 Respuestas a la suplementación con concentrado.....	79
6. CONCLUSIONES.....	90
7. LITERATURA CITADA	92
8. ANEXOS.....	99

INDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Características de praderas alfalfa-ovillo, en Chapingo México.....	5
Cuadro 2. Producción neta de forraje (kg de MS ha ⁻¹) de avena-ballico anual	8
Cuadro 3. Aporte de avena y ballico anual al forraje total al sembrarse en asociación y a través de cuatro cosechas en una misma estación de crecimiento	9
Cuadro 4. Efecto de la suplementación con ensilado de maíz sobre la producción individual de leche	13
Cuadro 5. Sustitución kg de forraje (kg de ensilado) ⁻¹	14
Cuadro 6. Reducción en el tiempo dedicado al pastoreo en vacas lecheras recibiendo ensilado de maíz como suplemento.....	16
Cuadro 7. Producción de leche de vacas en pastoreo recibiendo distinto nivel de suplementación con concentrado y a distinta disponibilidad de forraje	18
Cuadro 8. Sustitución de forraje por concentrado en vacas lecheras recibiendo distinto nivel de concentrado y asignación	22
Cuadro 9. Concentración de grasa y proteína (%) en leche de vacas en pastoreo suplementadas con niveles distintos de concentrado	25
Cuadro 10. Relaciones hipotéticas entre el consumo por bocado (CB) y la tasa de sustitución de concentrados por forrajes en vacas lecheras	28
Cuadro 11. Tiempo de pastoreo y consumo en vacas lecheras a diferente altura de la pradera, nivel de producción de leche y suplementación con concentrado	30
Cuadro 12. Composición y aporte del concentrado ofrecido a las vacas ¹	35
Cuadro 13. Composición de la mezcla mineral	35
Cuadro 14. Distribución (horas) promedio de las actividades relacionadas con el manejo de los animales durante el período experimental	38
Cuadro 15. Efectos fijos y aleatorios en el análisis de varianza de los datos de diferentes variables dependientes	47

Cuadro 16. Masa de forraje ofrecido (kg MS ha^{-1}) en diferente momento de medición en dos recursos forrajeros pastoreados por vacas recibiendo distinto nivel de concentrado	52
Cuadro 17. Masa de forraje residual (kg MS ha^{-1}) en diferente momento de medición en dos recursos forrajeros pastoreados por vacas recibiendo distinto nivel de concentrado	53
Cuadro 18. Composición botánica promedio del forraje en dos recursos forrajeros para la estación y cuatro niveles de concentrado	54
Cuadro 19. Asignación diaria de forraje y carga animal en alfalfa-ovillo (pradera) y avena-ballico anual (cultivo). Promedio de 4 muestreos de la estación	58
Cuadro 20. Atributos de la producción animal de vacas lecheras pastoreando alfalfa-ovillo y avena-ballico anual y recibiendo diferente nivel de concentrado	60
Cuadro 21. Patrón de actividades diarias (minutos día^{-1}) de vacas lecheras en pastoreo suplementadas con ensilado y nivel distinto de concentrado	62
Cuadro 22. Rechazo de suplemento como porcentaje del ensilado ofrecido. Proteína Cruda y Contenido de Fibra Detergente Neutro del suplemento rechazado (% de MS)	64
Cuadro 23. Pastoreo activo (min) durante diferentes momentos en la sesión de pastoreo matinal en avena-ballico (cultivo) y en la sesión de la tarde y noche en alfalfa-ovillo (pradera)	65
Cuadro 24. Tasa de bocados (bocados min^{-1}) durante diferentes intervalos de tiempo de sesión matutina de pastoreo sobre avena-ballico (cultivo) y sesión vespertina nocturna en alfalfa-ovillo (pradera)	67
Cuadro 25. Número total de bocados durante diferentes intervalos en la sesión de matutina de pastoreo sobre avena-ballico (cultivo) y la sesión vespertina nocturna sobre alfalfa-ovillo (pradera)	70
Cuadro 26. Ecuaciones de regresión de consumo de forraje [kg MS ha^{-1} (ciclo pastoreo) ¹] sobre masa de forraje ofrecido (kg MS ha^{-1}) basado en muestras de calibración apareadas	72

Cuadro 27. Consumo de forraje por vaca y por 100 kg de peso vivo (PV) en alfalfa- ovillo (pradera) y avena-ballico (cultivo), estimado a partir del muestreo de áreas de pastoreo.	72
Cuadro 28. Consumo de forraje y MS total estimados a través de producción fecal, cálculo en reversa de los requerimientos nutricionales y muestreo del área de pastoreo; tasa de sustitución de acuerdo a diferentes métodos usados para estimar consumo	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Composiciones botánica y morfológica, y estructura de avena-ballico entre el final del invierno e inicio de la primavera (la barra vertical representa 2 × error estándar)	55
Figura 2. Composiciones botánica y morfológica, y estructura de alfalfa-ovillo de edad diferente (la barra vertical representa 2 × error estándar)	56
Figura 3. Tiempo gastado en consumo activo de ensilado por vacas lecheras en la mañana (a) y por la tarde (b)	63
Figura 4. Patrón de actividades diarias de vacas lecheras pastoreando praderas de avena-ballico y praderas de alfalfa-ovillo.....	66
Figura 5. Tasa de bocados (bocados min ⁻¹) a diferentes momentos de la sesión de pastoreo de la mañana sobre cultivo forrajero (a) y a diferentes momentos en la sesión de la tarde y noche en pradera permanente (b) (la barra vertical representa 2 × error estándar)	68
Figura 6. Estimación del consumo de forraje/vaca/día a través de diferentes métodos..	73
Figura 7. Proporción de los requerimientos de Energía Metabolizable (EM), Proteína Degradable en Rumen (PDR) y Proteína no degradable en Rumen (PNDR), de acuerdo al nivel de producción, considerando que el peso vivo no cambió, de vacas lecheras en pastoreo recibiendo distinto nivel de concentrado ofrecido. Requerimientos calculados de acuerdo al NRC (1989)	81
Figura 8. Respuestas a la alimentación suplementaria a diferentes cargas animales en producción de leche por vaca y por hectárea (Resultados de estos experimentos y adaptados de Hoden <i>et al.</i> (1991) y Clements <i>et al.</i> (1992)).....	88

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos Generales:

Nombre: Feliciano Martínez Valenzuela

Lugar de Origen: Miguel Auza, Zacatecas.

Fecha de nacimiento: 27 de Abril de 1975

Formación Académica

Primaria: Esc. Gral. Heriberto Jara. Miguel Auza, Zac. (1981-1987)

Secundaria: Esc. Sec. Tec. No. 2. Miguel Auza Zac. (1987-1990)

Preparatoria: Preparatoria Agrícola Chapingo Méx. (1990-1993)

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx.
(1993-1997).

1. INTRODUCCIÓN

En condiciones templadas de México y de otros países, la alimentación de ganado lechero especializado a partir del pastoreo de praderas de alta calidad, ha mostrado beneficios económicos al reducir el costo de producción de la leche fluída.

La estación invernal en la zona templada de México, aunque benigna en temperatura, reduce la tasa de acumulación de la pradera bajo riego, definiendo así un momento crítico en que la producción de forraje puede limitar fuertemente la producción de leche. Para mantener la carga animal, el nivel de producción de leche de las vacas, y una buena condición corporal de las mismas, ofrecer suplemento puede ser una alternativa, sin embargo, debe evaluarse en su impacto biológico como económico.

En el aspecto biológico se debe considerar la complementación o la sustitución que puede presentarse entre la cosecha del forraje por pastoreo y cantidad y naturaleza del concentrado ofrecido. Debe incluirse además el efecto sobre la condición corporal de la vaca al final del periodo de la lactancia, ya que la condición corporal puede determinar la posibilidad de una nueva gestación y con ello la subsiguiente producción de leche.

El ofrecer concentrado a vacas al mismo tiempo que permite mantener un buen nivel de nutrición de la misma, puede elevar considerablemente el costo de producción, a un punto tal que la relación de precios entre el concentrado y la leche sea desfavorable y con ello reducir o anular la rentabilidad de la empresa.

La presente investigación se desarrolló, con el objetivo general de determinar las características del componente pradera y animal de un sistema de producción de leche en pastoreo cuando se ofrece distinto nivel de concentrado a las vacas en producción.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación y perspectivas de la producción de leche en México

El sector lechero mexicano no ha sido capaz de satisfacer la demanda nacional de leche en varios años. Durante el período 1985-1990, México adquirió casi 50% de la leche en polvo descremada (LPD) del mercado mundial (Muñoz y Odermatt, 1992). Actualmente, México continua recurriendo al mercado internacional, para satisfacer la demanda interna, adquiere 36% del total de las importaciones mundiales de LPD, por lo que México es el primer importador mundial, seguido de Japón con 15.4% (Muñoz *et al.*, 1997). La reducción en volumen de LPD importada registrada en los últimos años, responde parcialmente a la recuperación del 20% de la producción nacional, reducción de los volúmenes distribuidos por LICONSA en el marco del programa de abasto social de leche a precio subsidiado (13% entre 1991 y 1995), incremento del precio internacional (42% entre 1990 y 1995), así como la contracción del consumo ante la persistente pérdida del poder adquisitivo de la población, derivado de la devaluación del peso mexicano (Muñoz *et al.*, 1997; Muñoz *et al.*, 2000).

La producción de leche nacional entre 1991 y 2000, ha tenido sus altibajos, pero con una tendencia a crecer a un ritmo moderado, en respuesta a la política de liberación del precio de la leche; sin embargo, se está lejos de alcanzar la autosuficiencia alimenticia en el renglón leche en el futuro inmediato (Améndola *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 2000).

Aún cuando existe una demanda nacional cubierta por las importaciones de LPD, los tratados firmados por México, hacen que la presión de disminuir el costo de producción del litro de leche en el corto plazo sea un factor determinante para la sobrevivencia de los sistemas de producción de leche que no tan solo depende de cubrir esa demanda, sino también de llegar al mercado con un bajo costo de producción que obliga al

planteamiento de estrategias, entre ellas, la producción de leche con uso del pastoreo de praderas de alta calidad como uno de los componentes primordiales en la alimentación de la vaca. El pastoreo de praderas, en la zona templada de México, puede ser alternativa dada la mayor posibilidad técnica del manejo higiénico de la leche, en donde las zonas tropicales todavía tienen mucho que aplicar y desarrollar.

2.2 Antecedentes y algunas características de alfalfa-ovillo

A finales de la década de los años setenta y principios de los ochenta se empezó a generar información respecto al comportamiento productivo de algunas especies forrajeras en monocultivo y asociadas (Avendaño, 1978; Jiménez, 1983).

La estacionalidad marcada de gramíneas en siembras puras (Avendaño, 1978), marcó la pauta para que Jiménez (1983), estudiará el comportamiento de éstas asociadas a leguminosas (tréboles y alfalfa), tratando de reducir la variación estacional en producción de forraje que pudiera aportar dicha leguminosa. Al respecto encontró que durante el periodo invernal las praderas que incluían alfalfa presentaban mayor tasa de acumulación de materia seca, y la asociación alfalfa-festuca presentaba el mayor rendimiento seguido por alfalfa-ovillo. Pero finalmente, concluyó que la asociación alfalfa-ovillo, como pradera permanente era la más recomendable, debido a que presentaba las mejores producciones de materia seca digestible ha^{-1} , aunque no tuviera la menor variación estacional o el más alto rendimiento total en base seca.

2.2.1 Masa de forraje en alfalfa-ovillo

La masa de forraje, es la medición instantánea de la cantidad de forraje expresada en kg de MS ha^{-1} , y de preferencia determinada a ras de suelo. La masa de forraje es dividida

en tres tipos: masa de forraje ofrecida, residual y desaparecida, las dos primeras provienen de determinaciones directas antes y después de un pastoreo o corte y la última es la diferencia entre éstas (Hodgson, 1979).

Algunas características productivas de alfalfa-ovillo se presentan en el Cuadro 1. La masa de forraje ofrecida muestra un efecto estacional, registrándose las menores masas de forraje de octubre a febrero con un promedio de 2653 kg MS ha⁻¹, mientras que las máximas ocurren de mayo a septiembre con 4352 kg MS ha⁻¹. Los valores mínimo y máximo ocurren en enero y julio con un promedio de 2467 y 4985 kg MS ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 1).

La masa de forraje ofrecida además del efecto estacional, presenta un efecto directamente proporcional al largo del periodo de descanso (Cuadro 1), como del aporte de alfalfa al rendimiento, principalmente en el periodo invernal (Jiménez, 1983). Guillen *et al.* (1991) encontraron que entre los meses de noviembre a abril, incrementar de 21 a 42 días el periodo de descanso, la cantidad de forraje ofrecido pasó de 1251 a un máximo de 2566 kg MS ha⁻¹. El constante incremento en la cantidad de forraje ofrecido, fue explicado por los autores con base al mayor periodo de crecimiento vegetativo y al incremento en la proporción de alfalfa dentro del forraje cosechado.

La magnitud de masa de forraje residual depende de la masa de forraje ofrecido (Cuadro 1) por lo que muestra un patrón estacional similar a éste último, las menores masas de forraje residual se dan de octubre a febrero con un promedio de 1082 kg MS ha⁻¹ y las mayores de mayo a agosto con un promedio de 1762 kg MS ha⁻¹, siendo 907 kg MS ha⁻¹ para febrero como mínimo y 1950 kg MS ha⁻¹ para julio como máximo.

La cantidad de masa de forraje desaparecido, en alfalfa-ovillo, bajo condiciones de Chapingo, puede ser alto como lo reportan Sánchez *et al.* (1996) de más de 20,000 kg

MS ha⁻¹ año⁻¹. Además muestra una relación directamente proporcional con masa de forraje ofrecido (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de praderas alfalfa-ovillo, en Chapingo México

Época	PD (día)	FO -----Kg MS ha ⁻¹ -----	FR	GD %	TDF Kg MS (100 kg PV) ⁻¹	Referencia
Ene-Mzo	58	4631	2338	46.5	3.2	Cortez (1998)
Nov-Abr	21	1251	866	29.1	2.4	Guillén <i>et al.</i> (1991)
	28	1458	950	33.8	2.3	
	35	2085	1214	43.7	3.6	
	42	2566	1111	56.1	4.3	
Ene-Abr	NR	3768	2179	40.9	0.79	Martínez (1999)
Ene		2467	989	60	3.2	Sánchez <i>et al.</i> (1996)
Feb		2478	907	63	3.4	
Mar		3232	1503	53	3.7	
Abr		3456	1672	52	3.8	
May		3958	1808	54	4.6	
Jun		4392	1770	60	5.6	
Jul		4985	1950	61	6.4	
Ago		4471	1521	66	6.3	
Sept		3952	1341	66	5.6	
Oct		2966	1193	60	3.8	
Nov		2609	1170	55	3.1	
Dic		2743	1152	58	3.4	

PD=Periodo de descanso. FO=forraje ofrecido. FR= forraje residual. GD=Grado de defoliación. TDF=Tasa de desaparición de forraje.

2.2.2 Valor nutritivo y composición botánica

El forraje de la asociación alfalfa-ovillo, en la época invernal puede promediar 22.4% de proteína cruda (PC) y 73.4% de digestibilidad *in situ* de la MS (Martínez 1999; Sánchez *et al.*, 1996; Cortez, 1998; Guillén *et al.*, 1991), de mayo a julio 17.08% de PC y 68.7%

de digestibilidad *in situ* (Hernández y Ramírez, 1986; Sánchez *et al.*, 1996). Con un promedio anual de 21.6% PC y 72.1% de digestibilidad *in situ* (Sánchez *et al.*, 1996).

La estación del año y el manejo de la pradera pueden originar cambios en la composición botánica de la asociación. Aniano y Ayala (1989) encontraron que de marzo a julio, ovillo y la maleza incrementaron en su aporte a la composición botánica hasta llegar a un máximo de 38.9 y 6.2% respectivamente de la masa de forraje, momento en que alfalfa llegó a su mínimo con un aporte de 54.8%.

El aporte de alfalfa, ovillo y de maleza varía según el largo del período de descanso. Ruiz *et al.* (1990) y Rivera *et al.* (1992) encontraron que a los extremos del largo de descanso, ovillo reducía su aporte al rendimiento, en el período de descanso más corto (21 días), ovillo no era capaz de un rebrote vigoroso por no recuperar un nivel de reservas favorable, mientras que en el más largo (92 días) el rebrote de ovillo estaba limitado por la competencia con alfalfa por luz, al poder alcanzar ésta una mayor altura dentro del dosel en comparación a ovillo que se mantenía en crecimiento vegetativo sin elongación de tallo.

2.3 Avena-ballico anual

La avena y el ballico anual forman parte de los cultivos forrajeros invernales, que según Muslera y Ratera (1991) se caracterizan por ser especies anuales (6 meses), se pueden utilizar mediante corte para conservación, con la ventaja de poderse utilizar directamente en pastoreo.

Debido a que las praderas permanentes bajo riego, enfrentan el problema de estacionalidad en la producción, manifestando caída en la tasa de acumulación de forraje en la época invernal. Algunos autores, entre ellos Améndola (1997), plantean la

inclusión de cultivos de cereales de invierno, al sistema de producción de leche como estrategia para incrementar la producción de leche en esa época. Cortez (1998), encontró que la incorporación de avena-ballico anual como apoyo a una pradera permanente (alfalfa-ovillo), permitió incrementar la producción de leche en invierno, disminuir costos por suplementación y mejorar la rentabilidad de la explotación. Martínez (1999), confirmó la importancia de la inclusión de avena-ballico anual al sistema de producción de leche por la capacidad de esta asociación de cubrir 2/3 partes de la demanda por forraje en la época invernal.

2.3.1 Establecimiento

La densidad de siembra expresada como semilla pura viable (SPV ha⁻¹) es de 50 y 15 kg para avena y ballico anual respectivamente (Pérez, 1999; Dorantes, 1997), aunque Norton *et al.* (1990) proponen 60 kg para avena sin variación en la cantidad de ballico.

El alcanzar una buena cobertura de plantas se logra con el buen manejo de la densidad de siembra, que se indica como buena meta el alcance de 200 plantas m⁻² en asociación y 400 plantas m⁻² para monocultivo (Delgado, 1983). Dorantes (1997) estimó la densidad de plantas en alrededor de 244 plantas m⁻², para la asociación, logrando un buen enraizamiento y cobertura por las plantas.

2.3.2 Producción de forraje, composición botánica y valor nutritivo

La producción neta de forraje varía desde 4,000 hasta 12,500 kg MS ha⁻¹ de forraje por efecto de varios factores, entre los cuáles destacan, las condiciones climáticas del lugar donde se establezca, el tipo de cosecha (pastoreo o mecánica), la cantidad de cortes y la respuesta a la fertilización nitrogenada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Producción neta de forraje (kg de MS ha⁻¹) de avena-ballico anual

Cultivo	N kg ha ⁻¹ / cosecha	Tipo y número de cosechas		Pdn. neta	Referencia
AB	50	P	4	7975	Dorantes (1997)
AB+veza de invierno	0	P	4	5513	
AB+Veza común	0	P	4	5014	
AB+ Trébol rojo	0	P	4	4402	
AB+ Trébol berseen	0	P	4	4157	
AB (50:50)*	60	M	6	12500	Melgoza <i>et al.</i> (1991)
AB (75:25)*	60	M	6	11400	
AB (25:75)*	60	M	6	10600	
AB	25	P	2	4653	Pérez (1999)
AB	100	P	2	5856	
AB	175	P	2	6503	
AB	250	P	2	6174	
AB	325	P	2	6934	

AB= Avena-ballico anual. P=Pastoreo. M=Mecánica.

*Proporción en siembra de avena y ballico anual.

La inclusión de leguminosas invernales a la asociación avena-ballico anual, no incrementa la producción neta de forraje invernal en comparación al uso de fertilización con nitrógeno. Dorantes (1997) encontró que la producción neta de forraje de avena-ballico anual fue 67% mayor cuando se aplicó 50 kg de nitrógeno ha⁻¹ en comparación al rendimiento obtenido con esta asociación más cualquiera de las leguminosas evaluadas.

La producción neta de forraje, de avena-ballico anual puede variar con la proporción de semilla de avena y ballico anual usada a la siembra. Melgoza *et al.* (1991), en Chihuahua obtuvieron la máxima producción neta de forraje (12,500 kg de MS ha⁻¹) en 6 cortes aplicando 60 kg N ha⁻¹, después de cada corte, cuando la proporción avena ballico anual fue de 50:50.

La capacidad de producción de forraje de avena-ballico anual a lo largo de la estación de crecimiento se ha explicado por la habilidad de un dinamismo complementario entre ellas, así hacia la parte inicial de la estación es avena quien aporta la mayor cantidad de

forraje pero hacia el final de la estación es ballico anual (Cuadro 3). Norton *et al.* (1990), confirman que este dinamismo complementario, es la causa del mejor comportamiento de avena-ballico anual.

Cuadro 3. Aporte de avena y ballico anual al forraje total al sembrarse en asociación y a través de cuatro cosechas en una misma estación de crecimiento

ESPECIE	Número de cosecha			
	1	2	3	4
	----- Aporte (%)-----			
Avena	80.22	47.46	31.38	23.88
Ballico Anual	19.5	53.00	68.63	76.10

Fuente: Dorantes (1997).

Volosin y Labuda (1990), ubican a la asociación avena-ballico anual con un valor nutritivo alto por presentar elevada tasa de ingestión, digestibilidad del 80% y un contenido de proteína cruda entre 18 y 25%, además mantiene el valor nutritivo antes de la floración, ocurriendo disminuciones de éstas características con el encañado.

Cortez (1998) reporta que el forraje de la asociación avena-ballico anual presentó de 11 a 12% de PC y 71% de digestibilidad *in situ* de la MS, Dorantes (1997) reporta 16.1% PC y digestibilidad del 70%; por último, Martínez (1999) indica valores de 14.7% de PC y 79.9% de digestibilidad.

Por el alto valor nutritivo de avena-ballico anual en la época invernal se ubica como buen complemento forrajero en invierno a praderas permanentes para incrementar la producción de leche en invierno (Cortez, 1998).

2.3.3 Respuesta a la fertilización nitrogenada

Existen diferencias entre especies de gramíneas en la respuesta a la fertilización nitrogenada, razón por la cual se manifiestan diferencias entre las especies asociadas, provocando un cambio en la proporción del rendimiento hacia la especie más competitiva, como lo reportan Nuño *et al.* (1989) en trabajos sobre praderas nativas de *Lolium perenne*-*Dactylis glomerata*, en donde por efecto de la fertilización se incrementó el contenido de MS y PC, además de la proporción de *Lolium perenne* con el consecuente detrimento de otras especies.

Pérez (1999) registro una mayor un mayor efecto sobre la composición botánica, en comparación con la composición morfológica en avena-ballico, al incrementar la cantidad de N de 25 a 250 kg ha⁻¹ pastoreo⁻¹, la proporción de ballico aumentó de 23 a 55.5%, mientras que la de hoja solo incremento de 22 a 30%. Coincidiendo a lo reportado por Wilman y Wright (1983) quienes mencionan altos cambios en la composición botánica y leves en la razón hoja:tallo por efecto de incrementar el aporte de N.

2.4 Circunstancias y aspectos a considerar al suplementar con concentrado a animales en pastoreo

Son excepcionales las circunstancias en que el crecimiento de las praderas es uniforme a través del año, lo más común es que se presenten grandes diferencias en la tasa de crecimiento de las forrajeras en las diferentes épocas (Améndola y Sánchez, 1999). Esta situación acarrea que el desempeño animal presente un comportamiento de acuerdo a la producción de forraje y a la calidad del mismo a través del año (Riquelme, 1999).

El uso de la suplementación se ha generalizado, debido al desbalance entre lo consumido por el animal y sus requerimientos, que impide la completa manifestación del potencial genético para producción (Riquelme, 1987). Además, la suplementación permite minimizar desventajas de la cosecha por pastoreo, así como deficiencias de algunos nutrientes en el forraje cosechado (Améndola y Sánchez, 1999; Riquelme, 1999).

Generalmente los suplementos se clasifican en energéticos, proteínicos e inorgánicos, con la posibilidad de utilizarse como vehículos para ionóforos y probióticos (Riquelme, 1987; Mendoza, 1995).

Sin embargo, las respuestas esperadas muchas veces no coinciden con las observadas debido a los efectos sustitutivos derivados de la suplementación y si no se maneja con precaución puede implicar mayores pérdidas que beneficios atentando sobre la rentabilidad del sistema (Leaver, 1985; Riquelme, 1999).

No es fácil el estudio de la suplementación debido principalmente a la dificultad en la estimación del consumo por los animales en pastoreo, que limita su estudio en gran medida (Poppi, 1996).

En la siguiente parte únicamente se tocará lo referente a dos fuentes de suplementación: ensilado de maíz y concentrado.

2.4.1 Suplementación con ensilado de maíz

El cultivo de maíz para ensilar, por características como su alto rendimiento de materia seca en un periodo corto de tiempo (15-20 t de MS ha⁻¹), buen rendimiento de materia seca por unidad de volumen de agua aplicada (2.3-2.4 kg MS/m³ agua contra 1.6 de la alfalfa), ha sido uno de los principales forrajes utilizados en la alimentación de la vaca lechera y el constituyente principal en la dieta de los establos (Núñez *et al.*, 1999).

En los sistemas de pastoreo intensivo de zonas templadas el ensilado de maíz ha funcionado como un amortiguador alimenticio entre las épocas del año, tratando de mantener una oferta de nutrientes constante a los animales (Améndola y Sánchez, 1999; Améndola *et al.*, 2000; Núñez *et al.*, 1999), al igual que la carga animal (Phillips y Leaver, 1985; Phillips, 1988).

La suplementación con ensilado de maíz debe asociarse a limitaciones en cantidad o calidad del forraje ofrecido para pastoreo (Leaver, 2000). El uso de ensilado de maíz como suplemento a vacas en pastoreo debe basarse en el balance el costo de la práctica y el impacto sobre los aspectos productivos de las vacas dentro como fuera del periodo de suplementación particularmente en reproducción y la condición sanitaria de los animales.

2.4.1.1 Producción de leche

Para analizar del impacto de la suplementación con ensilado de maíz, en principio no están claros los efectos, por la influencia de múltiples factores como, la cantidad y la calidad del forraje pastoreado por los animales, las restricciones alimenticias a los que están sometidos, la asignación de forraje, y el nivel de ensilado al que son expuestos los animales.

La tendencia generalizada es a disminuir la producción de leche individual conforme se proporcionen mayores cantidades de ensilado de maíz (Phillips, 1988) o bien cuando se convierte en el componente mayoritario de la dieta de las vacas lecheras en pastoreo (Cuadro 4). Sin embargo, la respuesta puede ser variada y no encontrarse coincidencia entre los autores en cuanto a la cantidad ingerida de ensilado que disminuya o incremente la producción de leche (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la suplementación con ensilado de maíz sobre la producción individual de leche

% Ensilado en la dieta total	Diferencia respecto a las no suplementadas (kg vaca ⁻¹ día ⁻¹)	Referencia
17	+0.1	Phillips (1988)
23	+1.4	
25	+0.7	
29	+0.1	
72	-0.2	
74	-0.4	Martínez (1999)
37	-1.4	
*8.5	-1.2	
14.5	-0.8	
26.1	-1.6	
Cons de Ensilado (kg vaca ⁻¹ día ⁻¹)		Leaver (2000)
11.2	-0.1	
3.9	-0.2	
3.2	-0.3	

*Tomando de base un consumo total promedio de 18 kg vaca⁻¹ día⁻¹.

Aun cuando la tendencia generalizada es a disminuir la producción individual de leche por vaca, en condiciones de pastoreo la variable de capital importancia es la producción de leche por hectárea, mostrando tendencia a incrementarse conforme se exponen las vacas a mayores niveles de ensilado de maíz, y esta situación toma mas importancia debido al elevado costo de la tierra (Martínez, 1999; Améndola *et al.*, 2000; Phillips, 1988).

2.4.1.2 Efecto sustitutivo del ensilado por el forraje cosechado

La reducción en el consumo de forraje, por cada kg MS de alimento suplementario se le conoce como efecto sustitutivo de la suplementación (Hodgson, 1990). Situación que

ocasiona que las respuestas esperadas no coincidan con las observadas (Riquelme, 1987).

La sustitución que genera el consumir ensilado de maíz cuando se proporciona a vacas en pastoreo, generalmente fluctúa entre 0.6 y 1.3 (Cuadro 5). Phillips (1988), ubica la tasa de sustitución generada por el consumo de ensilado de maíz en 0.15 a 0.30 unidades más que la sustitución generada por suplementos concentrados.

Las época del año por diferencias en producción de MS y calidad de las forrajeras, puede ser un factor que junto con la cantidad ofrecida de ensilado pueden influenciar la tasa de sustitución que genera el ensilado (Phillips y Leaver, 1985), sin embargo el comportamiento de la tasa de sustitución no está muy claro al existir controversia en los resultados (Cuadro 5).

Cuadro 5. Sustitución kg de forraje (kg de ensilado)⁻¹

Consumo de MS (kg día ⁻¹)		Sustitución (kg de forraje kg de ensilado ⁻¹)	Referencia
Ensilado	Forraje		
Exp 1 (Abr-Jul)			
1.7	10.3	1.29	Phillips y Leaver (1985)
4.0	9.1	0.85	
5.8	7.2	0.91	
Exp 2 (Ago-Oct)			
4.1	7.4	0.68	Moran (1992)
10.4	2.6	0.73	
6.6	9.8	0.96	
7.7	8.1	1.05	
3.1	14.5	0.58	Moran y Stockdale (1992)
3.1	13.9	0.77	
8.2	9.4	0.84	
8.2	10.8	0.67	

La tasa de sustitución, puede estar influenciada por la disponibilidad de forraje, época del año ó sesión de pastoreo relacionado a la distribución espacial del rendimiento

(Phillips y Leaver, 1985; Moran, 1992; Moran y Stockdale, 1992), sin embargo estos mismos autores hacen hincapié que para alcanzar altas producciones individuales de leche es necesario manejar con cuidado la suplementación con ensilado, si bien es cierto que puede alcanzarse altas producciones por unidad de superficie cuando se descontrola su manejo puede resultar contraproducente y tener incluso pérdidas que beneficios económicos.

2.4.1.3 Comportamiento ingestivo de vacas lecheras suplementadas con ensilado de maíz

Las variables más afectadas a cambios en el consumo son las del comportamiento ingestivo, y dentro de ellas el tiempo dedicado a pastoreo. Hodgson (1990), indica que esta variación en las variables de comportamiento se da como adaptación del animal a cambios en el manejo.

Ofrecer ensilado de maíz como suplemento provoca generalmente una reducción en el tiempo dedicado al pastoreo; sin embargo, esta reducción no es necesariamente proporcional al nivel de ensilado, por lo que el consumo total (pradera-ensilado) puede mantenerse o aumentarse dentro de cierto intervalo de niveles de ofrecimiento (Cuadro 6).

Cuadro 6. Reducción en el tiempo dedicado al pastoreo en vacas lecheras recibiendo ensilado de maíz como suplemento

Nivel de ensilado (kg de MS v^{-1} día $^{-1}$)	Reducción en el tiempo de pastoreo (min)		Referencia
	Por día	Por kg de ensilado ofrecido	
1.7	42	24	Phillips y Leaver (1985)
4.0	180	45	
5.8	222	38	
4.1	108	26	
10.4	336	32	Martínez (1999)
1.4	68	48	
2.6	86	33	
3.7	137	37	

2.4.1.4 Carga animal con la suplementación de ensilado de maíz

El proporcionar ensilado de maíz, reduce el riesgo y las necesidades de tomar complejas decisiones sobre el manejo del pastoreo. Phillips y Leaver (1985) mencionan que la suplementación con ensilado de maíz funciona como alimento buffer para el forraje pastoreado entre las épocas del año, además citan incrementos de carga a partir de 5.3 vacas ha^{-1} , hasta 9.3 vacas ha^{-1} conforme se incrementa el consumo de ensilado, además puntualizan que dentro del intervalo de carga pueden existir variaciones en el consumo de ensilado dependiendo de la cantidad y rutina de ofrecimiento (día o noche).

2.4.2 Suplementación con concentrados

Los alimentos concentrados en su composición general, se definen como alimentos con un contenido elevado de energía o proteína y con un contenido de fibra inferior al 18%. En estos se incluye a los granos, la melaza, las grasas y subproductos de semillas. Subproductos como la pulpa de remolacha y la pulpa de cítricos, son excepciones de alimentos concentrados con contenido de fibra reducido (Flores, 1983).

La suplementación con concentrado es una de las herramientas que comúnmente se usa para incrementar la oferta de nutrientes en invierno y para corregir algunas de las desventajas de la cosecha por pastoreo (Améndola y Sánchez, 1999) o bajo situaciones de alta demanda por nutrientes como el caso de vacas altas productoras de leche (Leaver, 2000).

La respuesta animal a la suplementación con concentrado en los sistemas de pastoreo podría ser dependiente de la asignación de forraje, el valor nutritivo y la composición nutricional del concentrado (Rearte y Pieroni, 2001).

La respuesta a la suplementación con concentrado obtenida en diversas citas sobre algunas de las variables productivas se presenta a continuación.

2.4.2.1 Respuestas en producción de leche a la suplementación

Las respuestas a la suplementación con concentrado, generalmente se expresan de dos formas: cantidad de alimento por kilogramo leche extra o bien cantidad de leche extra producida por kilogramo de concentrado administrado.

Leaver *et al.* (1968), revisando 16 trabajos de suplementación con concentrado, bajo una amplia variedad de tipos de concentrado y condiciones de manejo, encontraron que la respuesta en producción individual de leche, variaba desde 0.15 hasta 1 kg de leche por kilogramo de concentrado administrado. En estudios recientes se registra un intervalo de 0.23 a 2.33 kg de leche por kg de concentrado (Cuadro 7).

Cuadro 7. Producción de leche de vacas en pastoreo recibiendo distinto nivel de suplementación con concentrado y a distinta disponibilidad de forraje

Disponibilidad	Nivel de suplementación (kg v ⁻¹ d ⁻¹)	Respuesta	REFERENCIA
ASIGNACIÓN (kg vaca ⁻¹ día ⁻¹)			
33.1	0 y 3.2	0.28	Grainger y Mathews (1989)
17.1	0 y 3.2	0.68	
7.6	0 y 3.2	0.97	
Asign. Baja	0 y 5	1.22	Wales <i>et al.</i> (1999)
Asign. Alta	0 y 5	0.96	
Asignación	0		Trigg <i>et al.</i> (1983)
Baja	1.8	1.6	
	3.6	1.77	
	6.3	0.69	
Asignación	0		
Alta	1.8	1.2	
	3.5	0.82	
	6.2	0.54	
ALTURA (cm)			
6	0 y 4	1.18	Clements <i>et al.</i> (1992)
8	0 y 4	2.5	
4	0 y 4	1.11	Rook <i>et al.</i> (1994)
6	0 y 4	1.18	
8	0 y 4	0.87	(1er periodo)
6	0 y 4	1.72	
8	0 y 4	1.08	(2do periodo)
Proporción trébol			
Baja	0		Wilkins <i>et al.</i> (1994)
	2	1.3	
	4	1.23	
Media	0		
	2	2.3	
	4	0.93	
Alta	0		
	2	0.25	
	4	0.23	
	0 y 6	0.73	Pulido y Leaver (1997)

La respuesta a la suplementación está influenciada por una serie de factores, Meijs y Hoekstra (1984), indican respuestas de 0.3 a 0.4 kg leche por kg de concentrado administrado bajo altas disponibilidades de forraje estando de acuerdo Kempton (1983) que menciona la existencia también de bajas respuestas en leche (0.4-0.7 kg leche kg

concentrado⁻¹). Sin embargo, existen datos como los de Stockdale (1999), que citan respuestas de 2.33 a 2.5 kg leche kg concentrado⁻¹, resaltando este autor que las respuestas en producción fueron influenciadas por las características del forraje consumido (calidad y disponibilidad) en conjunto con la composición del concentrado suministrado, e indicando que las mejores respuestas en leche a la suplementación con concentrado, ocurren cuando el pastoreo es sobre especies de baja calidad ó bajo limitaciones fuertes en accesibilidad al forraje, además menciona que a bajos niveles de suplementación pueden manifestarse efectos aditivos por la mejora del consumo de forraje, a partir del incremento en la digestión de los componentes del forraje.

2.4.2.2 Factores que afectan la respuesta a la suplementación con concentrado

2.4.2.2.1 Disponibilidad de forraje

En la literatura existe una amplia variedad de formas de expresar disponibilidad de forraje, algunos utilizan como variable independiente la carga animal (Hoden *et al.*, 1991), otros relacionan la disponibilidad del forraje con altura del forraje (Pulido y Leaver, 1997), otros con asignación diaria de forraje (Wales *et al.*, 1999) y algunos otros masa de forraje en oferta (Wales *et al.*, 1999; Stockdale, 1996).

Las respuestas a la suplementación con concentrado están fuertemente ligadas a la disponibilidad de forraje a que se expone al animal, en general el enfrentar a la vaca lechera a mayores masas de forraje con niveles crecientes de suplementación con concentrado, las respuestas en leche siguen una tendencia negativa, encontrando que las mejores respuestas en leche están en niveles bajos de disponibilidad de forraje y de suplementación con concentrado. Leaver (2000), registró que a menores

disponibilidades de disponibilidades de forraje, se obtuvieron las mejores respuestas individuales en leche ($1.35 \text{ kg de leche por kg concentrado}^{-1}$).

Las respuestas bajas a la suplementación ($0.2\text{-}0.5 \text{ kg leche kg concentrado}^{-1}$) debido a exponer a la vaca a altas disponibilidades de forraje son señaladas por diversos autores (Meijs y Hoekstra, 1984; Kempton, 1983; Stockdale, 1999), los que relacionan ésta baja respuesta al hecho de que con alta disponibilidad de forraje se incrementa la posibilidad de lograr un alto consumo de forraje de buena calidad por las vacas sin suplemento, reduciendo con ello la diferencia entre los requerimientos para producción y el nivel de consumo de los mismos. Así, la pobre respuesta a la suplementación, se debe al incremento en la tasa de sustitución directamente relacionada con la disponibilidad de forraje a los animales (Wales *et al.*, 1999).

Leaver (2000), menciona que la suplementación con concentrado, debe ofrecerse cuando el forraje tenga limitaciones nutricionales que impidan a los animales alcanzar un buen comportamiento productivo o cuando existan limitaciones en la cantidad de forraje como en la época invernal o en alguna sequía.

2.4.2.2.2 Potencial genético de la vaca y etapa de lactancia

La capacidad de producción de la vaca y etapa de lactancia son de los factores principales del animal que modifican las respuestas esperadas a la suplementación con concentrado.

La respuesta a la suplementación por animales de distinto potencial genético para producir o en distinto momento de la curva de lactancia va a ser distinta, debido a que las vacas con potencial genético para mayor producción de leche en estadios iniciales de la curva de lactancia están más lejos de cubrir sus requerimientos (Leaver, 1985; Phillips

y Leaver, 1985). Leaver (2000) y Pulido y Leaver (1997), registraron que vacas de distinta producción de leche reaccionan de manera distinta al pastoreo, son las vacas de mas alto potencial para producción o en el primer tercio de la curva, más agresivas al pastoreo, manifestando mejor respuesta a la suplementación aún a disponibilidades altas de forraje.

2.4.2.3 Efecto sustitutivo

No es muy común en la literatura encontrar en los reportes de suplementación con concentrado, la evaluación del efecto sustitutivo (Leaver, 1985), esta situación se debe principalmente a imprecisiones en la determinación del consumo de forraje en pastoreo (Poppi, 1996).

El efecto sustitutivo disminuye la respuesta a la suplementación, sin embargo los resultados son muy dispares y se encuentran desde la no sustitución (Trigg *et al.*, 1983) hasta 0.92 kg MS de forraje kg MS concentrado consumido⁻¹ (Leaver, 1985).

Dentro los factores que guardan una relación fuerte con el efecto sustitutivo están la asignación de forraje (Grainger y Mathews, 1989), la calidad del forraje y concentrado administrado (Hoffman *et al.*, 1993).

Stockdale (2000) indica que la magnitud de la tasa de sustitución, depende del nivel de ofrecimiento de forraje en pastoreo y de la composición botánica de la pradera. La tasa de sustitución se incrementó 0.21 kg MS forraje kg de concentrado⁻¹, por cada incremento en un kg de MS de forraje por 100 kg de peso vivo (PV); además, la sustitución fue 0.16 kg MS/kg MS mayor cuando la pradera estaba dominada por paspalum o raigrás en comparación a pradera con dominancia de trébol. Por último menciona y menciona que la magnitud de la tasa de sustitución puede variar con la

estación del año, al originarse cambios en las características nutritivas del forraje cosechado.

La sustitución del forraje incrementa con la disponibilidad de forraje y nivel de concentrado; más positiva a mayor disponibilidad de forraje y concentrado, más negativa a menor disponibilidad de forraje y concentrado. Éste comportamiento de la sustitución de forraje, está dado en función del consumo potencial de animales sin concentrado a una disponibilidad de forraje o nivel de concentrado dados (Meijs y Hoekstra, 1984).

La magnitud de la tasa de sustitución de forraje por kg de concentrado aumenta conforme la asignación de forraje es mayor (Cuadro 8).

Cuadro 8. Sustitución de forraje por concentrado en vacas lecheras recibiendo distinto nivel de concentrado y asignación

Asignación (kg v ⁻¹ d ⁻¹)	Nivel concentrado (kg v ⁻¹ d ⁻¹)	Sustitución	Referencia
Baja	0-5	0.2	Wales <i>et al.</i> (1999)
Alta	0-5	0.42	
33.1	0-3.2	0.69	
17.1	0-3.2	0.25	Grainger y Mathews (1989)
7.6	0-3.2	0.0	
15	0.8-5.6	0.10	
20	0.8-5.6	0.31	Meijs y Hoekstra (1984)
25	0.8-5.6	0.50	
30	0.8-5.6	0.69	
16	1.8	0	Trigg <i>et al.</i> (1983)
14.9	3.6	0	
15.2	6.3	0.23	
25.8	1.8	0.94	
26.6	3.5	0.43	
26.3	6.2	0.30	
No reportado	0-6	0.48	Pulido y Leaver (1997)
No reportado*	4	0.64	Opatpatanakit <i>et al.</i> (1993)
	8	0.63	

*Grano de cebada fue el concentrado.

2.4.2.4 Proporción leguminosa:gramínea

En praderas gramínea:leguminosa pastoreadas por vacas lecheras, no se ha documentado la influencia, de la proporción de leguminosa en el forraje consumido.

Wilkins *et al.* (1994) trabajando con distintas proporciones de trébol (baja, mediana y alta) en el forraje consumido por vacas lecheras y con tres niveles de suplementación (0, 2 y 4 kg vaca⁻¹ día⁻¹), encontraron variación en los kilos de leche por kg de concentrado con la proporción de trébol. La respuesta más alta fue 2.93 kg de leche por kg de concentrado cuando la proporción de trébol fue mediana y se ofreció 2 kg de concentrado. En general la respuesta a la suplementación fue más pobre cuando el trébol tomo una alta proporción en la dieta; sin embargo, la producción de leche por vaca sin ofrecimiento de suplemento a las vacas se incrementó conforme se incrementó el aporte de trébol a la dieta. Este incremento en producción de leche, puede responder a un mayor consumo de proteína lo que a su vez permite mayor consumo de forraje de la pradera (Butler, 1998). Así la pobre respuesta a la suplementación cuando la proporción de trébol en la pradera es alta, se explica por el hecho de que las vacas sin suplemento alcanzan altos consumos de materia seca.

2.4.2.5 Composición de la leche

El tema de composición de la leche con la suplementación con concentrado ha sido un tema de gran controversia. La amplia gama de suplementos concentrados usados en distintas partes del mundo bajo condiciones muy diferentes han dado poca claridad del comportamiento de los componentes de leche al suplementar con concentrado.

En la industria de procesamiento ha destacado la buena composición de la leche de vacas lecheras en pastoreo, siempre que se mantenga un forraje abundante de buena

calidad. Pero si existen limitantes, la calidad de la leche puede ser seriamente afectada, por lo que en este caso se recomienda incrementar la cantidad de nutrientes consumidos por las vacas a través de adicionar un suplemento concentrado (Rearte y Pieroni, 2001)

En pastoreo el factor que más énfasis se le ha dado es el nivel de concentrado administrado, sin embargo los resultados no son muy consistentes. Wales *et al.* (1999), suplementando a vacas lecheras en pastoreo con 5 kg vaca⁻¹ día⁻¹, no encontraron variación en los componentes de la leche a excepción de la grasa que bajó. Sin embargo, Trigg *et al.* (1983), no encuentran una respuesta contundente en la variación de grasa y concluyen que el nivel de suplementación no manifestó efecto en los componentes de la leche.

El contenido de grasa en leche puede disminuir al incrementar el nivel de suplementación con concentrado. Sin embargo en los experimentos consultados quizá los niveles utilizados no fueron lo suficientemente altos como para provocar la reducción en el contenido de grasa o quizás existan algunos otros factores no considerados que estén enmascarando esta respuesta mencionada en la literatura para el caso de ganado con dietas altas en concentrado (Cuadro 9).

Es poco probable que se encuentren resultados contundentes, debido a que altos niveles de suplementación pueden atentar en contra de la rentabilidad de los sistemas de producción de leche en pastoreo, además un suplemento no debe constituir más del 30% del consumo total (Riquelme, 1999).

Los componentes de la leche que se consideran más variables a cambios con la suplementación con concentrado son la grasa y la proteína (Cuadro 9).

Cuadro 9. Concentración de grasa y proteína (%) en leche de vacas en pastoreo suplementadas con niveles distintos de concentrado

	Nivel concentrado (kg vaca ⁻¹ día ⁻¹)	Grasa	Proteína	Referencia
Asign Baja	0	5.4	3.7	Trigg <i>et al.</i> (1983) (Expto 1)
	1.8	5.1	3.9	
	3.6	5.8	3.9	
	6.3	4.6	4.2	
Asign. Alta	0	5.2	3.8	
	1.8	5.1	3.7	
	3.5	5.0	3.9	
	6.2	4.9	4.2	
Expto. 1	0	3.4	3.1	Castillo <i>et al.</i> (2001)
	3.5	3.3	3.1	
	6.0	3.2	3.1	
Expto. 2	0	3.3	3.0	
	3.0	3.2	3.1	
	6.0	3.1	3.1	
	9.0	3.2	3.1	
Cont. Trébol	0	3.6	2.6	Wilkins <i>et al.</i> (1994)
Bajo	2	3.8	2.8	
	4	3.9	2.8	
Medio	0	3.46	2.8	
	2	3.72	2.8	
	4	3.8	3.0	
Alto	0	3.86	2.9	
	2	4.05	3.0	
	4	3.8	3.0	
cebada	0	3.3	3.4	Optapatanakit <i>et al.</i> (1993)
	4	3.3	3.6	
	8	3.2	3.7	

Un nivel de suplemento concentrado no mayor a 4 kg vaca⁻¹ día⁻¹ asegura mantener el contenido de grasa en leche y puede favorecer el incremento en concentración de otros componentes de la leche (Wilkins, *et al.*, 1994; Jones-Endsley, *et al.*, 1997; Rook *et al.*, 1994).

Trigg *et al.* (1983) encontraron que la más alta producción de grasa se alcanzó con 4.5 kg de concentrado consumido vaca⁻¹ día⁻¹, con reducción en el contenido de grasa por arriba de este nivel. Sin embargo, en un segundo experimento el contenido de grasa disminuyó cuando el consumo de concentrado fue mayor a 2.7 kg vaca⁻¹ día⁻¹. Concluyendo que los componentes de la leche, pueden cambiar en su concentración por efecto de la variación del nivel de concentrado y la calidad del forraje pastoreado, aunque la respuesta en leche no se vea afectada.

2.4.2.6 Efecto de la suplementación con concentrado sobre algunos componentes de la digestión

Otro factor a considerar es la posible depresión en la digestión de la fibra que el suplemento podría causar; sin embargo, no existe una tendencia clara (Rearte y Pieroni, 2001).

Algunos autores culpan la baja respuesta a la suplementación con concentrado, al efecto que este puede tener sobre la digestión. Jones-Endsley *et al.* (1997) al aumentar el consumo de proteína por dar mayor cantidad de concentrado o por incrementar la concentración de proteína en el concentrado, encontraron que se incrementó el consumo total de nutrientes, la digestibilidad de la materia orgánica, el flujo duodenal de aminoácidos esenciales y totales, incrementó la digestibilidad de FDN y FDA, además existió tendencia a incrementar la cantidad de propionato y disminuir el acetato, con mayor nivel de concentrado.

El NRC (1989), menciona que la tasa de digestión de la fibra esta en su máximo cuando los fluidos del rumen están a un pH entre 6.2 y 7.0 y precipitándose linealmente cuando el pH está entre 5.5 y 5.7

Rearte y Pieroni (2001) mencionan que la reducción en la digestibilidad de la dieta, causada por la adición de almidón podría ser atribuida a pH ruminales bajos o bien a la presencia de almidón directamente; sin embargo, estos mismos autores señalan que el efecto no está muy claro y que posiblemente exista una interacción entre la tasa de degradación de la fibra, la composición del concentrado suministrado y la digestibilidad de la fibra del forraje consumido.

2.4.2.7 Comportamiento ingestivo

El comportamiento ingestivo de animales en pastoreo es un proceso complejo dinámico y continuo entre el suelo- planta- animal-ambiente (Dougherty *et al.*, 1989).

Krysl y Hess (1993) concluyen que el consumo de nutrientes es comúnmente el principal factor que limita la producción por animales en pastoreo; sin embargo, los componentes del comportamiento ingestivo, podrían ser más sensibles a cambios en el manejo que el consumo de nutrientes, ya que aquellos componentes pueden mostrar compensación entre ellos.

Leaver (2000) menciona que factores tales como asignación de forraje, calidad, contaminación (efecto marcado sobre consumo) afectan los componentes del comportamiento ingestivo de ganado en pastoreo.

La suplementación con concentrado puede reducir el tiempo dedicado al pastoreo y tiene efectos sobre los componentes del comportamiento ingestivo, esto explica en parte la no correspondencia entre las respuestas esperadas en producción con las observadas (Riquelme, 1999), además puede explicar el comportamiento de la tasa de sustitución del forraje por el concentrado (Hodgson, 1990).

La suplementación con concentrado, disminuye la agresividad al pastoreo, reduciendo el tiempo de pastoreo, la tasa de consumo y consumo de forraje, sin embargo puede existir un incremento en el consumo total de nutrientes (Leaver, 2000; Krysl y Hess, 1993).

Krysl y Hess (1993) citan diversos trabajos en su revisión donde encontraron reducciones de 1.5 h día^{-1} en tiempo de pastoreo en animales suplementados con concentrado contra aquellos que no recibieron suplemento. Otros autores han encontrado reducciones en el tiempo de pastoreo desde 3 hasta 20 minutos por kilogramo de MS de concentrado dependiendo de las condiciones de la pradera (Jenning y Holmes, 1984).

Leaver (1985) construyó un modelo de simulación para explicar lo que estaba pasando con la suplementación, en este relacionó la tasa de sustitución, consumo por bocado (CB) para estimar lo que estaba pasando con los componentes del comportamiento ingestivo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Relaciones hipotéticas entre el consumo por bocado (CB) y la tasa de sustitución de concentrados por forrajes en vacas lecheras

CB (g MS)	Parámetro ¹		Reducción en tiempo de pastoreo/ kg MS concentrado	Tasa de sustitución
	TB (No min ⁻¹)	TC (g MS min ⁻¹)		
0.25	64.1	16	0	0
0.35	62.2	21.8	13	0.28
0.45	30.3	27.1	20	0.54
0.55	58.4	32.1	24	0.77
0.65	56.5	36.7	25	0.92

¹TB=Tasa de bocados. TC=Tasa de consumo.

Fuente: Leaver (1985).

Conforme se incrementa el tamaño de bocado se mejora la arquitectura de la pradera para lograrlo, sin embargo la tasa de sustitución se incrementa de la misma manera (Cuadro 10), ocasionando productivamente menores respuestas en producción de leche

por kilogramo de suplemento administrado, como lo corrobora Mejis (1981) donde encontró que la tasa de sustitución para asignaciones altas de forraje vario de 0.4-0.6 y Mejis y Hoekstra (1984) para asignaciones altas encontraron un promedio de 0.5 de sustitución y para asignaciones muy bajas de 0.1.

Leaver (2000) registró un incremento de 12 minutos de pastoreo por kilogramo de leche producida a un consumo promedio por bocado de 0.35 g MS, este consumo fue equivalente a 0.22 kg de MS por kg de leche representando ese consumo extra el requerimiento de EM para 1 kg de leche. De aquí deriva que la suplementación con concentrado se justifica bajo muchas circunstancias para vacas altas productoras de leche. Concluyendo el autor que el tamaño de bocado y consecuentemente la tasa de consumo, son de los principales factores que afectan el consumo diario de forraje.

Bajo condiciones de pastoreo, se debe considerar la disponibilidad del forraje, el nivel de concentrado suplementado y el nivel de producción de leche dado por vacas con más alto potencial de producción de leche o por estar en el primer tercio de la curva de lactancia y explicar las respuestas productivas con base diferencias en el forraje consumido y en el comportamiento ingestivo, monitoreadas por modificaciones en la tasa de consumo de forraje y por el tiempo dedicado a pastoreo (Cuadro 11).

Cuadro 11. Tiempo de pastoreo y consumo en vacas lecheras a diferente altura de la pradera, nivel de producción de leche y suplementación con concentrado

	Tiempo de pastoreo (min /día)	Tasa de consumo (gMS/min)	Consumo de Forraje (Kg MS/día)
Altura de Pradera (cm)			
6	506	28	14.2
9	474	34	16.1
Leche (kg v ⁻¹ día ⁻¹)			
15	506	25	14.2
30	543	25	17.4
Concentrado (kg v ⁻¹ día ⁻¹)			
0	543	32	17.4
6	485	27	13.1

Fuente: Leaver (2000).

2.4.2.8 Carga animal en vacas suplementadas con concentrado

El incremento en la producción de leche por animal en respuesta a la suplementación, puede no ser atractivo económicamente, sin embargo cuando se analizan las respuestas en producción de leche por superficie, las respuestas a la suplementación con concentrado pueden resultar muy atractivas con valores hasta de 2.5 kg de leche por kg de concentrado suministrado (Améndola y Sánchez, 1999).

Martínez (1999) al suplementar con ensilado de maíz y concentrado, encontró importantes incrementos en la carga animal, pasó de 2.1 vacas ha⁻¹ al no suplementar hasta 3.6 animales ha⁻¹ al ofrecer 4.86 kg MS vaca⁻¹ día⁻¹ y finalmente concluyó que la suplementación no afectó la producción individual de leche, pero permitió incrementar la producción de leche por hectárea.

Los incrementos en carga pueden ir apareados con aumentos en la suplementación, sin embargo existen límites biológicos. Le Du *et al.* (1979), mencionan que la producción por unidad de superficie con suplementación se maximiza cuando la producción

individual se deprime entre 20 y 25%. Sin embargo, ésta aseveración puede aplicar únicamente para la suplementación con forrajes, esta situación para el caso de la suplementación con concentrado no ha estado muy clara, incluso raramente relacionan la suplementación con concentrado con los incrementos en carga animal, generalmente se ha enfocado a incrementos en producción individual como principal fuente de la toma de decisiones para el uso de la suplementación.

La suplementación con concentrado ofrece pocas ventajas en términos de producción individual (Améndola *et al.*, 2000) si se considera la productividad por unidad de superficie las respuestas pueden ser más relevantes y la toma de decisiones sobre su implementación podría ser más acertada (Améndola *et al.*, 2000; Rook *et al.*, 1994).

2.4.2.9 Cambios de peso vivo y condición corporal

Generalmente la suplementación mejora el peso vivo y la condición corporal (Trigg *et al.*, 1983; Wales *et al.*, 1999), sin embargo existen algunos otros factores que modifican dicho comportamiento como, la cantidad y composición del concentrado, producción de leche, etapa de lactancia, tamaño corporal.

Stockdale (2000) al suplementar vacas en producción registró mejora en la condición corporal en 0.03 puntos y 650 g de ganancia de peso, respecto a vacas sin suplemento.

La suplementación con concentrado en las primeras etapas de lactancia no promueve necesariamente incrementos de peso, pero sí evita mayores pérdidas de peso por dar un menor balance negativo, lo que implica un mejor comportamiento futuro de la vaca.

Trigg *et al.* (1983) encontraron que la partición de la energía en vacas en distinta etapa de lactancia suplementadas con concentrado, era en la primera etapa de lactancia hacia síntesis de leche, y posteriormente exista un balance entre la síntesis de leche y de tejido

corporal desviándose más hacia este último conforme se avanzaba más la lactancia y este estímulo se daba por variaciones en la proporción de los ácidos acético:propiónico en rumen con la suplementación con concentrado que afectaba la partición de la energía.

2.5. HIPÓTESIS

Las hipótesis planteadas en este trabajo fueron:

- ❖ La masa de forraje ofrecido y residual, grado de defoliación no se afectan con el nivel de concentrado, pero son modificados por tipo de recurso forrajero.
- ❖ La composición botánica para avena-ballico anual varia con el momento de muestreo pero no se afecta por el nivel de concentrado.
- ❖ La carga animal avena-ballico anual es superior a alfalfa-ovillo y además se incrementa conforme se aumenta el nivel de concentrado.
- ❖ El consumo de forraje y el tiempo dedicado a pastoreo disminuyen con la suplementación con concentrado.
- ❖ La tasa de sustitución de forraje por concentrado se incrementa al incrementar el nivel de concentrado.
- ❖ La producción de leche individual y por hectárea incrementa conforme se aumenta el nivel de concentrado.
- ❖ Las mejores respuestas en leche a la suplementación con concentrado individual y por hectárea se da en el nivel más alto y mas bajo respectivamente.
- ❖ La contenido de grasa en leche disminuye conforme se aumenta el nivel de concentrado.
- ❖ Disminuye el contenido de nitrógeno ureico en leche (NUL) por efecto de incrementar el nivel de concentrado.
- ❖ La ganancia de peso se mejora conforme se aumenta el nivel de concentrado.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y duración del experimento

El experimento se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo a 19° 53' N, 98° 53' W y 2240 msnm (García, 1988). La fase de campo abarcó del 30 de Diciembre de 1999 al 10 de Mayo del 2000.

3.2 Clima

El clima de la región se define como: Cb (wo) (w) b (i')g (García, 1988). Es un clima templado subúmido con lluvias en verano, con verano fresco largo, precipitación del mes más seco menor de 40 mm y con menos del 5% de la lluvia total en el periodo invernal, poca oscilación térmica, con marcha de la temperatura tipo ganges. La temperatura promedio es de 15°C siendo mayo el mes de mayor temperatura con 17.7 °C y enero el mes más frío con 11.8 °C, con una precipitación anual de 644.8 mm.

3.3 Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en ofrecer 0, 2, 4 y 6 Kg de un mismo concentrado vaca⁻¹ día⁻¹. El diseño experimental fue completamente al azar. La unidad experimental fue un grupo de cinco vacas, con su respectiva área de pastoreo.

3.4 Proporción de ingredientes y composición estimada del concentrado utilizado

En el Cuadro 12 se presenta la proporción de cada ingrediente involucrado en la formulación del concentrado utilizado.

Cuadro 12. Composición y aporte del concentrado ofrecido a las vacas¹

INGREDIENTE	Aporte (%)
Maíz	81.6
Harina de pescado	8.3
Melaza	4.2
Harina de carne	4.2
Mezcla mineral	1.7
Nutriente	Concentración o aporte
Energía neta de lactancia	1.836 Mcal kg ⁻¹
Proteína cruda	15.146 %
Proteína no degradable en rumen	9.321 %

¹El aporte es con base a información del NRC (1989).

La composición de la mezcla mineral constituyente del concentrado elaborado se presenta en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Composición de la mezcla mineral

MINERAL	CONCENTRACIÓN (%)	MINERAL	CONCENTRACIÓN (ppm)
Calcio	6.0	Cobalto	60
Cloro	10.57	Cobre	1,000
Potasio	0.040	Hierro	2,489
Magnesio	8.510	Yodo	500
Sodio	7.00	Manganeso	4,000
Fósforo	16.75	Selenio	40
Azufre	0.28	Zinc	6,000

3.5 Áreas para el pastoreo

Se usaron dos tipos de áreas para el pastoreo: pradera permanente de alfalfa-ovillo y cultivo forrajero avena-ballico anual.

De pradera permanente se usaron 5.6 ha, la variedad de alfalfa fue Valenciana y Potomac la del ovillo, en el total de la superficie en pradera permanente se incluyen áreas de uno a tres años de haber sido sembradas con la asociación referida al momento de iniciar la fase de campo del presente experimento. La densidad de siembra siempre

fue de 15 y 20 kg SPV para alfalfa y ovinillo respectivamente, únicamente al momento de la siembra se aplicó 100 Kg de N y 60 Kg de P_2O_5 ha^{-1} .

En cultivo forrajero se tuvieron 4 ha, la variedad de avena fue Walken y Barspectra la de ballico anual. La densidad de siembra fue de 80 y 25 kg para avena y ballico, respectivamente.

La siembra del cultivo forrajero fue escalonada con dos semanas de diferencia entre fechas de siembra. En cada fecha solo se sembró una de las 4 ha. La primer fecha de siembra fue la tercer semana de septiembre, 1999 y la última en la segunda semana de noviembre, 1999. A la siembra se agregó 100 kg de N y 60 kg de P_2O_5 ha^{-1} , además luego de cada pastoreo se fertilizó con 100 kg de N ha^{-1} .

Tanto el área de pradera permanente como la de cultivo forrajero recibieron riego por aspersión, con una lámina de 6.7 cm por riego cada quince días.

3.6 Manejo del pastoreo

A cada uno de los cuatro lotes de cinco vacas, se le asignó un área exclusiva, en pradera permanente como en cultivo forrajero.

El área en cultivo forrajero recibía a las vacas de la salida de ellas del corral donde se les ofrecía el ensilado en la mañana y hasta la ordeña de la tarde. En pradera permanente, se mantenían las vacas desde la salida de ellas del corral donde recibían la ración vespertina de ensilado y hasta el regreso de ellas a este mismo corral al día siguiente antes de la ordeña, para recibir la ración matutina de ensilado y ser sujetas a la ordeña matutina.

Se siguió un pastoreo en franjas, para ambas áreas de pastoreo, el cambio a una nueva franja se daba cuando el forraje residual se estimaba era de 2000 kg MS ha^{-1} . En

promedio durante el tiempo en que las vacas estaban en el cultivo forrajero recibían acceso a dos franjas mientras que en pradera permanente solo se les ofrecía una franja en cada momento. La estimación de forraje residual se explica en la realización de determinaciones en campo. No se pastoreo más de una vez una misma franja.

3.7 Animales y rutina de manejo

Se utilizaron 20 vacas Holstein de un peso vivo promedio de 540 ± 50 kg de peso vivo de 1º, 2º y 3º parto en diferentes etapas de la lactancia. Estas 20 vacas se organizaron en 4 grupos de 5 vacas cada uno. Estos grupos se conformaron de manera tal, que cada uno contenía, vacas de similar número de parto, días en leche y potencial de producción según registros anteriores o pedigree (para vacas de 1º parto). El promedio de días en leche al inicio de la fase experimental fue de 157 días.

La rutina de manejo diaria de los animales que se siguió durante el experimento se presenta en el Cuadro 14 en intervalos de tiempo.

La alimentación de las vacas consistió además del pastoreo en ofrecer en corral ensilado de maíz con el nivel de concentrado del tratamiento. La cantidad de ensilado por vaca fue de $4.32 \text{ kg de MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, este ofrecimiento fue para todas las vacas. El concentrado se mezcló con el ensilado. La cantidad total por día de ensilado + concentrado, se ofreció mitad en la mañana y la otra mitad en la tarde (Cuadro 14).

Durante la ordeña misma las vacas no recibían ningún alimento.

El ofrecimiento del ensilado y el concentrado era para el total de las vacas de un grupo y no de forma individual.

Además de incluir la mezcla mineral en el concentrado, se ofreció la mezcla *ad libitum* en el corral y áreas de pastoreo, el acceso al agua fue tanto en las áreas de pastoreo como en el área de ordeño.

Cuadro 14. Distribución (horas) promedio de las actividades relacionadas con el manejo de los animales durante el período experimental

A c t i v i d a d	Nivel de suplemento (kg vaca ⁻¹ día ⁻¹)	
	0 y 2	4 y 6
Entrada a corral para ensilado matutino	05:45	05:45
Inicio de la ordeña matutina	06:30	07:15
Fin de la ordeña y regreso al corral con ensilado	07:00	08:00
Inicio del pastoreo en cultivo forrajero	10:50	10:50
Inicio de la ordeña vespertina	15:00	15:45
Entrada a corral para ensilado vespertino	15:30	16:20
Inicio del pastoreo en pradera permanente	18:55	18:55

3.8 Periodo experimental

El periodo experimental se dividió en dos fases.

1. Adaptación de los animales al manejo general: pastoreo de pradera permanente y cultivo forrajero, suplementación con concentrado y ensilado, del 30 de diciembre de 1999 al 9 de marzo de 2000.
2. Toma de datos de campo, del 10 de marzo al 10 de mayo de 2000.

3.9 Variables de respuesta medidas y calculadas

Las variables de respuesta medidas fueron masa de forraje ofrecido (FO) y residual (FR), composición botánica (CB) y morfológica (CM) del forraje ofrecido, producción de leche individual, composición de la leche, consumo de concentrado y ensilado, comportamiento ingestivo, calidad del forraje consumido y cambio de peso vivo. Las

variables de respuesta estimadas fueron forraje desaparecido (FD), tasa de desaparición de forraje (TDF), grado de defoliación (GD), asignación diaria de forraje (ADF), carga animal (CA), producción de leche por hectárea, consumo (Co).

3.9.1 Masa de forraje ofrecido y residual

La masa de forraje ofrecido fue la cantidad de forraje por unidad de superficie que existía poco antes de que las vacas entrarán a pastorear, y la masa de forraje residual fue la cantidad de forraje que quedaba una vez que las vacas eran movidas a una nueva franja de pastoreo.

Para determinar la masa de forraje ofrecido y residual se siguió la misma metodología, que consistió en la combinación de dos tipos de mediciones: destructiva y no destructiva. La destructiva consistió en cortar 10 muestras de referencia, realizándose el corte en dos estratos, el estrato superior > 7 cm y el estrato inferior < 7 cm, el corte del estrato superior se realizó con una podadora de césped rotativa tipo Snapper, marca Trupper modelo N21 5BS-P de 5 HP, con un ancho de corte efectivo de 52 cm, y 3 m de largo, el estrato inferior se cortó manualmente a ras de suelo, con un rectángulo de 0.9×0.3 m en el centro de la unidad de muestreo del estrato superior. La no destructiva consistió en la distribución de unidades de muestreo en todo el potrero tomando de referencia las dimensiones de la unidad de muestreo para el estrato superior (0.52×3 m), a las cuáles se les aplicó medidas de: disco de altura comprimida calibrado con 484 g de peso (Lantinga, *et al.* 2000), regla de pradera (Hodgson, 1990) y visual comparativa (Haydock y Shaw, 1975). Además estas mediciones se aplicaron también a las muestras cortadas.

La estimación final de masas de forraje ofrecido y residual, se hizo a partir, de curvas de regresión derivadas de las muestras de la técnica destructiva aplicadas a promedios de mediciones de la técnica no destructiva.

Para la selección de los mejores modelos de predicción de la masa de forraje se usó el procedimiento Stepwise (Steel y Torrie, 1988).

3.9.2 Composición botánica y morfológica

Al medir forraje ofrecido, se cortó forraje a ras de suelo, en un área no mayor a 0.05 m², que se separó en alfalfa, ovillo y maleza en pradera permanente y en el caso de cultivo forrajero en avena, ballico y maleza. Cada componente fue dividido a la vez en hoja, tallo y material muerto, con excepción de la maleza. Todos los componentes identificados, se secaron en una estufa de circulación forzada de aire a 100°C y sobre la base de peso seco se calculó la proporción de cada uno de ellos.

3.9.3 Producción de leche individual

Se registró la producción de leche por día por vaca en dos días consecutivos en cada semana.

3.9.4 Composición de la leche

El muestreo de leche se hizo una sola vez, a finales del periodo experimental, cuando las vacas habían acumulado 125 días bajo tratamiento, a cada muestra tomada se le determinó la concentración de: grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos, y nitrógeno ureico (NUL). Este análisis fue realizado en los laboratorios Holstein de México S.A. de C.V. ubicados en la ciudad de Querétaro, México.

3.9.5 Consumo de concentrado y ensilado

Debido a la mezcla de estos dos suplementos, se determinó el consumo conjunto, pesando diariamente la cantidad ofrecida y dos veces por semana la cantidad residual. A partir de éstas se estimó por diferencia el consumo de ensilado + concentrado.

3.9.6 Comportamiento ingestivo

Se determinó el tiempo dedicado a pastoreo, rumia, descanso, consumo de ensilado - concentrado, consumo de agua, mediante observaciones directas cada 10 minutos durante 74 h (28 al 30 Abril, 2000), 48 h (14 y 15 abril, 2000) y 24 h (29 marzo, 2000), en estos periodos además se determinó tasa de bocados en diferentes momentos del pastoreo, mediante el conteo de bocados por observación directa, determinando el tiempo empleado para efectuar 100 bocados.

3.9.7 Peso vivo (PV) y cambios de peso vivo

Se registró el peso vivo de las vacas cada semana con una báscula electrónica con capacidad para 2500 kg, media hora después de concluir la ordeña de matutina. Cambio de peso vivo fue la diferencia entre dos pesajes consecutivos.

3.9.8 Forraje desaparecido (FD)

El forraje desaparecido es la diferencia de la masa de forraje ofrecido (FO) menos la masa de forraje residual (FR).

3.9.9 Tasa de desaparición de forraje (TDF)

La tasa de desaparición de forraje, es la cantidad de forraje desaparecido por unidad de tiempo y peso vivo (Ecuación 1, Anexo 1).

3.9.10 Grado de defoliación (GD)

El grado de defoliación se expresó en porcentaje y fue la proporción que el forraje desaparecido representó de la masa de forraje ofrecida (Ecuación 2, Anexo 1).

3.9.11 Asignación diaria de forraje (ADF)

La asignación diaria de forraje se calculó con base en la cantidad de masa de forraje, superficie de la franja y el peso vivo de las vacas. Se expresa como kg MS de forraje/ 100 kg de PV/día (Ecuación 3, Anexo 1).

3.9.12 Carga animal (CA)

Hodgson (1979) define carga animal como el número de animales que pastorea un área específica de tierra considerando el alimento necesario para la alimentación animal durante un periodo determinado de tiempo (comúnmente un año) y su cálculo se realizó para cada ciclo de pastoreo (Ecuación 4, Anexo 1).

3.9.13 Producción de leche por hectárea

Se calculó a partir de tomar en cuenta la producción de leche individual y la carga animal del ciclo de pastoreo correspondiente a cada potrero.

3.9.14 Consumo de forraje (CF) y consumo total (CT)

Se usaron tres métodos para estimar consumo: por muestreo del área de pastoreo y del comedero; por producción fecal; y, con base a la demanda estimada para mantenimiento y nivel de producción alcanzada.

En el primer método se consideró al consumo de forraje como la diferencia entre el forraje ofrecido menos el forraje residual; y el consumo ensilado+concentrado fue la diferencia de la puesta en el comedero, menos el residual dejado en el comedero. Cuando se usa pastoreo en franjas, con periodos de pastoreo cortos y presiones de pastoreo altas, la diferencia entre el forraje ofrecido y el forraje residual, puede considerarse un indicador fiable del consumo de forraje por los animales en pastoreo (Hodgson, 1990; Lantinga *et al.*, 2000).

En el segundo método, se hizo considerando la producción fecal y la digestibilidad de la dieta consumida, para determinar producción fecal se usó como marcador el óxido crómico utilizando cápsulas de liberación controlada marca Captec®, cuya calibración fue hecha bajo praderas asociadas de ballico perenne-trébol blanco en el CSIRO en Australia, cuyas indicaciones según la etiqueta son: ingrediente activo Sesquióxido Crómico, concentración activa 64.53 % p/p, tasa de liberación diaria de 1.43 g Cr_2O_3 y recomendadas para ganado vacuno de 300 a 700 kg de PV.

La aplicación de la cápsula se hizo mediante el apoyo de un aplicador a nivel de laringe, ahí se esperaba que se diera el reflejo de tragado, para que llegaran hasta el rumen.

El muestreo de heces se hacía 8 días después de la aplicación una vez que el flujo de cromo era homogéneo a través del tracto digestivo (según indicaciones del fabricante),

de ahí se tenían 15 días confiables para muestreo de heces, concluido esto se esperaban 8 días para el vaciado y próxima aplicación.

La colección de heces de recto se realizó dos veces al día, en la mañana antes de entrar a corral y en la tarde después de la ordeña.

La determinación de producción fecal, se estima en función de la cantidad administrada (o liberada de las cápsulas de óxido crómico) de marcador a las vacas y su concentración en heces (Le Du y Penning, 1982; Minson, 1990), para el caso de este marcador, se usó la Ecuación 6 en Anexo 1. Se usó 75% de digestibilidad promedio (Benavides y Camacho, 1999). La estimación final de consumo se hizo en función de la Ecuación 7 en el Anexo 1.

Para el tercer método se usó la información que establece NRC (1989), para llegar a la producción individual de leche, composición de la leche y el cambio de peso en cada vaca.

3.10 Preparación de muestras para análisis de laboratorio

De las muestras de forraje colectadas correspondientes a forraje ofrecido, residual, (praderas de alfalfa-ovillo y avena-ballico) y ensilado. Dichas muestras se secaron en una estufa de circulación forzada de aire a 55 °C durante 72 horas hasta peso constante, posteriormente se molieron en un molino Wiley®, con malla de 1mm de tamaño.

Las muestras de leche, se prepararon en viales con conservador y en una hielera para su traslado al laboratorio.

Una vez colectadas las muestras de heces se procedió a secarlas en una estufa de circulación forzada de aire 100°C, hasta peso constante para ello se colocaron las heces con su respectiva identificación sobre bases de papel en canastillas de fierro.

Una vez secas las heces se molieron, con un molino Wiley®, con malla de 1 mm de tamaño de poro.

3.11 Análisis de laboratorio

3.11.1 Muestras de forraje

A todas las muestras se le determinó cenizas, mediante incineración a 550°C durante 2.5 horas hasta cenizas blancas (A.O.A.C., 1990).

Fibra Detergente Neutro (FDN) y Proteína Cruda (PC) de ensilado de maíz fueron estimadas mediante el método NIRS (por sus siglas en inglés).

3.11.2. Muestras de heces

A las muestras de heces, al igual que a las de forraje, se les determinó materia seca total a 100°C, después se sometieron a incineración en un mufla durante 3 horas a 550°C, a partir de este paso se les aplicó la metodología descrita por Williams *et al.* (1962) para cuantificación de cromo utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.12 Manejo y análisis estadístico de los datos

3.12.1 Técnicas indirectas de muestreo para estimar masa de forraje

La alta variación en el contenido de cenizas de las muestras (14 a 43%), por el tipo de metodología de muestreo destructiva empleada (Anexo 2 y 3). Para superar este problema y aplicar como estimadores las técnicas indirectas se procedió a corregir la materia seca quitando la contaminación por suelo de la siguiente forma: Se trasformaron las muestras de forraje a materia orgánica considerando el contenido de cenizas y se

retransformaron a MS considerando el contenido promedio cenizas de muestras sin contaminación de suelo, para cada tipo de forraje.

3.12.2 Análisis de las variables de respuesta

Para el análisis de todas las variables de respuesta a excepción de las variables medidas en los animales, el periodo experimental se dividió en 4 momentos de muestreo de las áreas de pastoreo (alfalfa-ovillo y avena-raigrás anual). El cuarto momento involucró un muestreo de avena-raigrás con dos muestreos para el caso de alfalfa ovillo (4 y 5 momento de muestreo).

Para el análisis se usaron modelos mixtos (Searle *et al.*, 1992) donde se consideraron efectos fijos y aleatorios y algunas covariables (Cuadro 15).

Cuadro 15. Efectos fijos y aleatorios en el análisis de varianza de los datos de diferentes variables dependientes

Efectos	Variables dependientes
E f e c t o s F i j o s	
Nivel de alimento suplementario.	Todas las variables.
Tipo de recurso forrajero.	Masa y composición de la masa de forraje en oferta. Masa de forraje residual. Asignación diaria de forraje. Carga. Consumo de forraje basado sobre muestreo del área de pastoreo. Variables del comportamiento ingestivo.
Intervalo de la sesión de próxima sesión pastoreo en el nivel de suplementación x tipo de recurso.	Variables relacionadas al comportamiento ingestivo.
E f e c t o s A l e a t o r i o s	
Momento de muestreo	Masa y composición del forraje ofrecido. Masa de forraje residual. Asignación diaria de forraje. Carga animal. Producción de leche por hectárea. Consumo de MS total y de forraje basados en muestreo de forraje.
Días de medición	Variables relacionadas al patrón diario de actividades. Consumo basado en producción fecal. Rechazo de suplemento. Producción de leche. Variables relacionadas al comportamiento ingestivo.
Vacas con cada nivel de alimentación suplementaria.	Variables relacionadas al patrón diario de actividades y comportamiento ingestivo.
C o v a r i a b l e s	
Efectos lineales de semana en leche, número de lactancias y promedio de producción diaria promedio durante una lactancia completa.	Producción de leche y su composición. Consumo por vaca (producción fecal y requerimientos). Cambios en peso vivo.

3.12.3 Modelos estadísticos usados

Modelo 1:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + R_j + M_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Masa de forraje ofrecido, composición botánica y morfológica y estructura de avena-ballico.

μ = Media general

C_i = efecto del nivel de concentrado, $i = 1, \dots, 4$

R_j = efecto del tipo de recurso forrajero, $j = 1, 2$

M_k = efecto del momento de muestreo = $1, \dots, 4$

E_{ijk} = error experimental

Modelo 2:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} = composición botánica, morfológica y estructura de la pradera alfalfa-ovillo.

μ = Media general

A_i = efecto de la edad $i = 1, 2$

E_{ij} = error experimental

Modelo 3:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + R_j + (C \times R)_{ij} + M_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Masa de forraje residual, asignación diaria de forraje, carga animal, grado de defoliación, consumo de forraje por diferencia

μ = media general

C_i = efecto del nivel de concentrado, $i = 1, \dots, 4$

R_j = efecto del tipo de recurso forrajero, $j = 1, 2$

$(C \times R)_{ij}$ = interacción entre el nivel de concentrado con tipo de recurso forrajero

M_k = efecto del momento de muestreo $k = 1, \dots, 4$

E_{ijk} = error experimental

Modelo 4:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + V_j(C_i) + D_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Patrón diario de actividades

μ = media general

C_i = efecto del nivel de concentrado, $i = 1, \dots, 4$

$V_j(C_i)$ = efecto de vaca anidado en nivel de concentrado, $j = 1, \dots, 24$

D_k = efecto del día de medición, $k = 1, \dots, 6$

E_{ijk} = error experimental

Modelo 5:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + D_j + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Producción de leche individual

μ = media general

C_i = efecto del nivel de concentrado, $i = 1, \dots, 4$

D_j = efecto del día de medición $j = 1, \dots, 15$

B_1X_1 = efecto lineal de semanas en leche

B_2X_2 = efecto lineal de número de lactancia

B_3X_3 = efecto lineal del promedio de producción diaria durante la lactancia

E_{ij} = error experimental

Modelo 6:

$$Y_{ijklm} = \mu + C_i + R_j + C \times R_{ij} + I_k (C \times R_{ij}) + V_l(C_i) + D_m + E_{ijklm}$$

Donde

Y_{ijklm} = Variables relacionadas al comportamiento ingestivo

μ = media general

C_i = efecto del nivel de concentrado, $i = 1, \dots, 4$

R_j = efecto del tipo de recurso forrajero, $j = 1, 2$

$C \times R_{ij}$ = efecto de interacción entre nivel de concentrado con tipo de recurso forrajero.

$I_k (C \times R_{ij})$ = efecto del intervalo de la sesión de pastoreo anidado en la interacción nivel de concentrado con tipo de recurso forrajero, $k = 1, \dots, 4$

$V_l(C_i)$ = efecto de vaca anidado en nivel de concentrado, $l = 1, \dots, 20$

D_m = efecto del día de medición $m = 1, \dots, 6$

E_{ijklm} = error experimental

Modelo 7:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + M_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} = producción de leche por hectárea y consumo de MS total por diferencia

μ = media general

C_i = efecto del nivel de concentrado, $i = 1, \dots, 4$

M_j = Momento de muestreo, $j = 1, \dots, 4$

E_{ijk} = error experimental

Modelo 8:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = composición de la leche, consumo (producción fecal y requerimientos) y cambio de peso vivo

μ = media general

C_i = efecto del nivel de concentrado, $i = 1, \dots, 4$

B_1X_1 = efecto lineal de semanas en leche

B_2X_2 = efecto lineal de número de lactancia

B_3X_3 = efecto lineal de promedio de producción diaria durante la lactancia

E_{ij} = error experimental

Modelo 9:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + D_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = rechazado de suplemento

μ = media general

C_i = efecto del nivel de concentrado, $i = 1, \dots, 4$

D_j = efecto del día de medición $j = 1, \dots, 15$

E_{ij} = error experimental

4. RESULTADOS

4.1 Masa de forraje ofrecido y residual

La cantidad de concentrado ofrecido a las vacas no influyó ($P>0.05$) en la cantidad de forraje ofrecido de avena-ballico anual, pero si tuvo efecto ($P<0.05$) en tres de los momentos de muestreo en la cantidad de forraje ofrecido en alfalfa-ovillo. Sin embargo, el efecto del nivel de concentrado fue muy errático de un muestreo a otro, por lo que al comparar la cantidad promedio de forraje para toda la estación no se detectó efecto del nivel de concentrado (Cuadro 16).

Cuadro 16. Masa de forraje ofrecido (kg MS ha^{-1}) en diferente momento de medición en dos recursos forrajeros pastoreados por vacas recibiendo distinto nivel de concentrado

Recurso Forrajero	⁺ MM	Nivel de concentrado ($\text{kg vaca}^{-1} \text{d}^{-1}$)				Prom.	Prom.	EE ^{tt}
		0	2	4	6			
Avena-ballico anual	1	4017 ^{+δ}	4154	4229	4136	4143		78
	2	5779	6047	5692	5995	5878		150
	3	6037	5225	6623	6465	6088		214
	4	6958	5456	7065	6571	6512		272
	Promedio	5698	5221	5902	5792		5653 A ^{δδ}	
Alfalfa-ovillo	1	4199	4871	4468	4281	4455		103
	2	4749 ab	5016 a	4373 b	4668 ab	4701		79
	3	1949 c	1993 c	3249 a	2849 b	2510		167
	4	4862	4453	4427	4381	4531		115
	5	6130 a	4736 b	5827 a	4417 b	5278		196
Promedio		4098	4119	4304	4049		4143 B	401

⁺MM=momento de muestreo. ^{tt}EE=error estándar.

^{+δ}Medias dentro de hilera seguidas de la misma literal minúscula o sin ella, no son diferentes ($\alpha=0.05$; t).

^{δδ}Medias dentro de columna seguidas de la misma literal mayúscula no son diferentes ($P>0.05$).

El momento de muestreo no mostró efecto ($P>0.05$) sobre la cantidad de forraje ofrecido en ninguno de los dos recursos forrajeros. En promedio para la estación avena-ballico anual mostró mayor ($P<0.05$) cantidad de forraje ofrecido que alfalfa-ovillo, en

promedio avena-ballico anual presentó 5653 kg MS ha⁻¹, al inicio de cada pastoreo, lo que representó 36% más forraje en comparación con alfalfa-ovillo.

La poca estacionalidad en la cantidad de forraje ofrecido, tanto en alfalfa-ovillo como avena-ballico anual se podría explicar debido a que todos los muestreos se realizaron en un lapso no superior a dos meses (Marzo-Abril).

La masa de forraje residual en avena-ballico anual no fue influida ($P>0.05$) por el nivel de concentrado, para el caso de alfalfa-ovillo solamente en el último muestreo se dio una menor ($P<0.05$) cantidad de forraje residual, cuando las vacas o no recibieron concentrado o recibieron 4 kg de concentrado al día (Cuadro 17). Al igual que en forraje ofrecido, al comparar la cantidad promedio de forraje residual para toda la estación, no se detectó efecto del nivel de concentrado (Cuadro 17).

Cuadro 17. Masa de forraje residual (kg MS ha⁻¹) en diferente momento de medición en dos recursos forrajeros pastoreados por vacas recibiendo distinto nivel de concentrado

Recurso forrajero	MM ⁺	Nivel de concentrado (kg vaca ⁻¹ d ⁻¹)				Promedio	Promedio EE ^{tt}
		0	2	4	6		
Avena-ballico anual	1	1591 ^{+δ}	1668	1589	1479	1582	77
	2	3238	2894	2949	3174	3064	153
	3	2614	2327	2395	2261	2399	26
	4	2914	2546	2682	2934	2769	132
Promedio		2589	2359	2404	2462		2453 A ^{δδ}
Alfalfa-ovillo	1	1973	1821	1714	1749	1814	58
	2	1287	1281	1323	1281	1293	37
	3	1488	1485	1365	1443	1445	52
	4	1420	1370	1338	1346	1369	31
	5	1330 b	1812 a	1151 b	1728 a	1505	79
Promedio		1531	1545	1412	1503		1497 B

⁺MM=momento de muestreo. ^{tt}EE=error estándar.

^{+δ}Medias dentro de hilera seguidas de la misma literal minúscula o sin ella, no son diferentes ($P>0.05$).

^{δδ}Medias dentro de columna seguidas de la misma literal mayúscula no son diferentes ($P>0.05$).

El momento de muestreo no mostró efecto ($P>0.05$), sobre la cantidad de forraje residual, en ninguno de los dos recursos forrajeros. En promedio para la estación avena-ballico mostró mayor ($\alpha=0.05$) cantidad de forraje residual que alfalfa-ovillo, en promedio avena-ballico presentó 2453 kg ha⁻¹ al final de cada pastoreo, lo que representó 64% más forraje en comparación con alfalfa-ovillo.

La similitud a lo largo de la estación, en forraje residual dentro de cada recurso forrajero, refleja el logro de forzar a las vacas a un nivel de cosecha, antes de ofrecer una nueva área para el pastoreo.

4.2 Composición botánica y morfológica de la masa de forraje ofrecido

Las composiciones botánica y morfológica del forraje ofrecido de avena-ballico y alfalfa-ovillo (datos no presentados) fueron similares ($P>0.05$) a todos los niveles de concentrado. En alfalfa-ovillo se presentaron los mayores ($P<0.05$) aportes de hoja y maleza al forraje ofrecido, 52.9 y 13.1% respectivamente, mientras avena-ballico se mantuvo prácticamente libre de maleza (Cuadro 18).

Cuadro 18. Composición botánica promedio del forraje en dos recursos forrajeros para la estación y cuatro niveles de concentrado

Recurso forrajero	Componente (%)			
	Maleza	Hoja	Tallo	Material Muerto
Avena-ballico anual	0.2	48.6	41.2	10.1
Alfalfa-ovillo	13.1	52.9	38.3	8.6
Error Estándar	4.4	2.0	3.2	3.3
Pr > F	0.01	0.01	0.11	0.16

Los aportes de avena, ballico, hoja y tallo en avena-ballico no fueron constantes ($P<0.05$) a través de la estación de pastoreo (inciso a y b; Figura 1), mientras que en alfalfa-ovillo no se registró tal diferencia (datos no presentados).

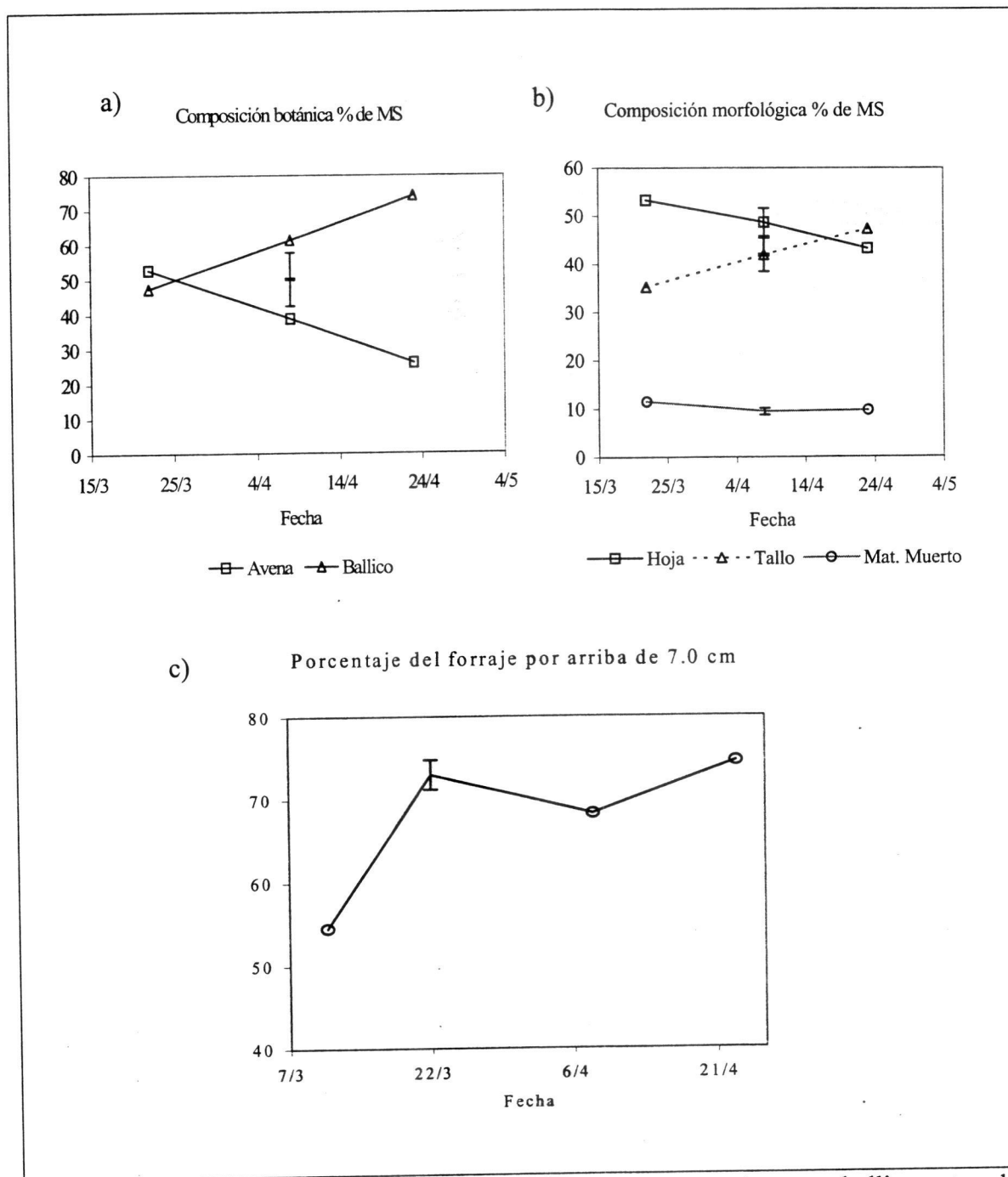


Figura 1. Composiciones botánica y morfológica, y estructura de avena-ballico entre el final del invierno e inicio de la primavera (la barra vertical representa $2 \times$ error estándar)

El aporte de avena y hoja a la composición botánica y morfológica al forraje ofrecido en avena-ballico disminuyó ($P < 0.05$) conforme se dio el avance de la estación, inverso al aumento de ballico y tallo. Sin embargo, el material muerto acumulado no fue afectado

($P>0.05$) por el momento de muestreo, a diferencia del porcentaje de forraje por arriba de 7 cm que si bien fue afectado por el momento de muestreo ($P<0.05$), no observó un patrón definido de respuesta conforme se avanzó en el muestreo (inciso c; Figura 1).

La composición botánica y morfológica y la estructura, de la pradera de alfalfa-ovillo fue afectada ($P<0.05$) con la edad de la pradera (incisos a,b,c; Figura 2).

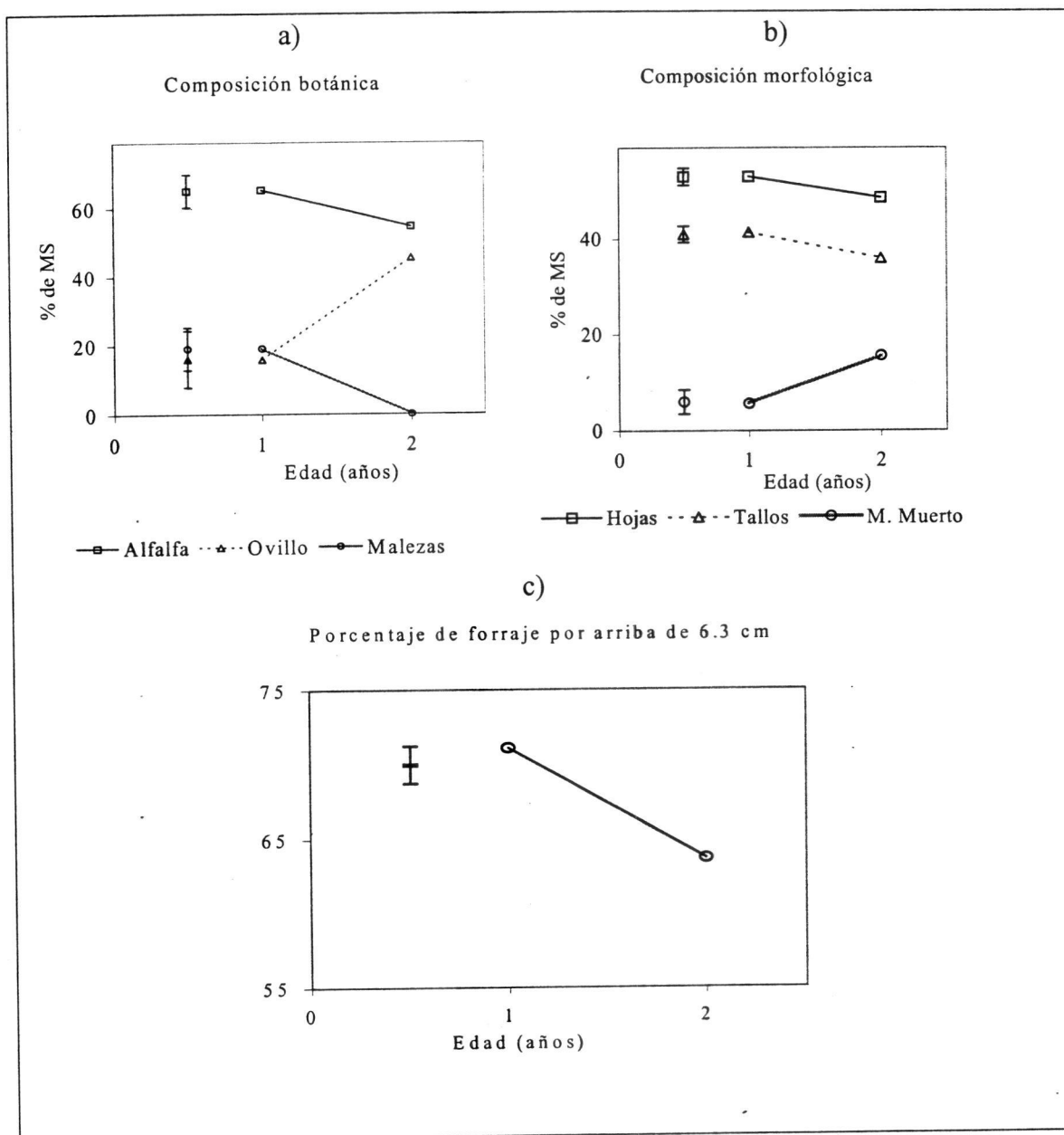


Figura 2. Composiciones botánica y morfológica, y estructura de alfalfa-ovillo de edad diferente (la barra vertical representa $2 \times$ error estándar)

El cambio en la edad de alfalfa-ovillo incrementó ($P<0.05$) el porcentaje de ovillo y material muerto a la composición del forraje ofrecido, sin embargo disminuyó ($P>0.05$) el aporte de alfalfa, hoja y tallo (incisos a, b; Figura 2), aunque el porcentaje de forraje por arriba de 6.3 cm se vió disminuido ($P<0.05$) en praderas de mayor edad.

La disminución en forraje ofrecido por arriba de los 6.3 cm al avanzar en edad, se explica por el mayor aporte de ovillo a la composición botánica y que éste concentro su rendimiento en la parte más baja del dosel.

4.3 Interrelaciones Pradera Animal

La asignación diaria de forraje no mostró efecto ($P>0.05$) del momento de muestreo (datos no presentados), de la interacción recurso forrajero $\times$ nivel de concentrado, ni del recurso forrajero (Cuadro 19). Pero si existió efecto ($P<0.05$) tanto en asignación total del día como en la asignación al pastorear alfalfa-ovillo (Cuadro 19). La máxima asignación diaria total fue de 3.88 y 1.66 kg MS (100 kg de PV)⁻¹ en alfalfa-ovillo, ambas registradas con el nivel de 2 kg de concentrado al día. El valor para la asignación total fue 48% superior al promedio registrado para los niveles 4 y 6 kg de concentrado que mostraron la asignación más baja.

La carga animal de avena-ballico y alfalfa-ovillo fue afectada ($P>0.05$) por la cantidad de concentrado ofrecido a las vacas y el recurso forrajero (Cuadro 19), sin embargo no se afectó ($P>0.05$) por la interacción nivel de concentrado $\times$ recurso forrajero, ni por el momento de muestreo (datos no presentados).

El ofrecer 4 ó 6 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹, resultó en una carga de 4.45 vacas ha⁻¹ 32% superior en vacas por hectárea, que el promedio en carga obtenido por el grupo de vacas que no consumieron concentrado o que solo recibieron 2 kg.

El promedio de carga animal 4.68 vacas ha⁻¹ obtenido por avena-ballico, resultó superior ($P < 0.05$) en 50% a la carga observada para alfalfa-ovillo (Cuadro 19).

Cuadro 19. Asignación diaria de forraje y carga animal en alfalfa-ovillo (pradera) y avena-ballico anual (cultivo). Promedio de 4 muestreos de la estación

Nivel de concentrado (kg vaca ⁻¹ día ⁻¹)	Asignación (kg de MS (100 kg PV) ⁻¹) en			Carga Animal (Vacas ha ⁻¹) en		
	Cultivo	Pradera	Total	Cultivo	Pradera	Promedio
0	1.73 ab	1.59 ab	3.33 B	4.67 ab	2.53 ce	3.65 B
2	1.96 a	1.66 ab	3.88 A	3.94 bce	2.27 e	3.11 B
4	1.60 ab	1.15 c	2.68 C	4.85 a	3.86 bce	4.35 A
6	1.42 bc	1.24 c	2.55 C	5.25 a	3.83 bce	4.51 A
Error estándar		0.07	0.14		0.76	0.53
Promedio	1.68 A	1.42 A		4.68 A	3.12 B	
Error estándar		0.15			0.38	

Medias seguidas de la misma literal minúscula entre hilera y columna no son diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

Medias seguidas de la misma literal mayúscula en una misma hilera no son diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

Medias seguidas de la misma literal mayúscula en una misma columna no son diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

4.4 Grado de defoliación

El grado de defoliación no fue influido ($P > 0.05$) por ninguna de las fuentes de variación: nivel de concentrado, recurso forrajero, momento de muestreo, e interacción nivel de concentrado $\times$ recurso forrajero (datos no presentados). El grado de defoliación promedio fue de 0.586 ± 0.036 . La constancia del grado de defoliación al través de los factores identificados se explica por la poca variación en forraje ofrecido y residual (Cuadro 16 y 17) y la estrategia de no dar una nueva área de pastoreo hasta no llegar a una altura constante de forraje residual.

4.6 Atributos del comportamiento animal

Las covariables efecto lineal de semana en leche, número de lactancia y promedio de producción diaria durante la lactancia, fueron significativas ($P < 0.05$), por lo que las medias para producción individual de leche, cambio de peso y composición de la leche se ajustaron.

La cantidad de concentrado ofrecido a las vacas afectó ($P < 0.05$) la producción individual de leche (Cuadro 20). El ofrecer hasta 4 kg de concentrado incrementó la producción individual de leche, sin mayor incremento luego de este nivel. La producción de leche a este nivel fue de 22.99 kg leche vaca⁻¹ día⁻¹, superior en 17% a la registrada en el tratamiento que no recibió concentrado, donde se dió la menor producción.

La variación en la producción individual de leche con el avance del experimento no fue lo suficiente importante así no se observó influencia ($P > 0.05$) por el día de medición en la producción (datos no presentados).

El nivel de concentrado ofrecido a las vacas no afectaron ($P > 0.05$) la concentración de los componentes de la leche. Ni aún al ofrecer 6 kg de concentrado fue lo suficientemente grande para que se presentaran diferencias (Cuadro 20). Sin embargo, el nitrógeno ureico en leche tendió ($P = 0.06$), a reducirse cuando se ofreció a las vacas de 2 a 6 kg de concentrado por día respecto a vacas que no recibieron concentrado.

La ganancia de peso fue poco sensible a incrementos en cambios de la cantidad de concentrado a partir del nivel mínimo que fue de dos kilos por vaca por día. Así, aún cuando en todos los tratamientos las vacas presentaron un cambio positivo de peso, solamente en las vacas que no recibieron concentrado, éste cambio positivo de peso fue el menor (Cuadro 20).

Cuadro 20. Atributos de la producción animal de vacas lecheras pastoreando alfalfa-ovillo y avena-ballico anual y recibiendo diferente nivel de concentrado

Atributo	Kg concentrado $v^{-1} d^{-1}$				EE	P
	0	2	4	6		
Kg leche vaca $^{-1} d^{-1}$	19.623 c	21.426 b	22.952 a	23.030 a		
Grasa (%)	3.82	3.79	4.01	3.75	0.20	0.7939
Proteína (%)	3.03	3.21	3.42	3.22	0.11	0.1616
Lactosa (%)	4.53	4.71	4.66	4.59	0.07	0.3124
Sólidos no grasos (%)	8.40	8.79	8.93	8.64	0.15	0.1190
Nitrógeno ureico en leche (mg dl^{-1})	18.6	14.7	11.5	15.7	2.6	0.06
Cambio de peso vivo (Kg vaca $^{-1} d^{-1}$)	0.199 b	0.540 a	0.496 a	0.457 a	0.07	0.0151
Kg leche ha $^{-1} d^{-1}$	75.6 b	70.7 b	105.1 a	110.5 a	10.8	0.0005
Respuesta kg de leche extra (kg concentrado) $^{-1}$ consumido por hectárea		-0.804 b	1.576 a	1.240 a	0.299	0.0015

EE=error estándar.

Medias con la misma literal dentro de hilera no son diferentes ($p>0.05$)

La producción de leche por hectárea varió ($P<0.05$), con el nivel de concentrado ofrecido (Cuadro 20). La producción de leche por ha, al conjuntar diferencias en carga animal como producción individual de leche, puede permitir magnificar el efecto de la suplementación, así el ofrecer 4 ó 6 kg de concentrado, permitió una producción diaria de leche/ha promedio de 107.5 kg superior en 32% al promedio mínimo registrado para vacas que no consumieron concentrado o que sólo se les ofreció 2 kg (Cuadro 20).

La poca variación en producción de leche por hectárea, con cambios en la estación, se reflejó en la ausencia de diferencias ($P>0.05$) en la producción por unidad de área por efecto del momento de muestreo (datos no presentados).

El ofrecer 2 kg de concentrado no permitió aumentar la producción de leche/ha respecto del tratamiento sin concentrado, a pesar de que la carga animal no fue diferente y aunque la producción individual de leche fuera mayor al testigo.

El nivel de concentrado ofrecido a vacas en pastoreo modificó ($P < 0.05$) la respuesta en la producción de leche por hectárea por kg de concentrado consumido por hectárea (Cuadro 20). La mayor respuesta en leche por hectárea por kg de concentrado consumido se obtuvo cuando se ofreció 4 ó 6 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹, con 1.408 kg de leche como respuesta promedio, superior a la respuesta negativa observada cuando únicamente se ofreció 2 kg de concentrado a las vacas.

4.7 Comportamiento ingestivo de vacas lecheras en pastoreo

4.7.1 Actividades de vacas lecheras en pastoreo de avena-ballico anual y alfalfa-ovillo

La cantidad ofrecida de concentrado a vacas en pastoreo modificó ($P < 0.05$) la respuesta en el tiempo dedicado a las actividades de pastoreo activo, consumo de ensilado, rumia y descanso cuando pastoreaban avena-ballico y alfalfa-ovillo, pero no influyó ($P > 0.05$) en el tiempo dedicado a otras actividades (Cuadro 21).

El no proporcionar concentrado o solo dar 2 kg por vaca por día, resultó en un registro de 391 min promedio en el tiempo dedicado a pastoreo activo, 17% superior al promedio mínimo registrado para vacas que a parte del pastoreo se les ofreció 4 y 6 kg concentrado por día.

Cuadro 21. Patrón de actividades diarias (minutos día⁻¹) de vacas lecheras en pastoreo suplementadas con ensilado y nivel distinto de concentrado

Actividad	kg concentrado vaca ⁻¹ día ⁻¹				Error estándar
	0	2	4	6	
Pastoreo activo	397 a	385 a	332 b	335	14
Consumo de ensilado	101 bc	90 c	121 a	112 b	5
Rumia	516 a	499 ab	481 bc	450 ab	12
Descanso	364 c	408 b	440 ab	474 c	14
Otras	63	59	66	68 a	4

Medias con la misma literal o sin ella, dentro de cada hilera no son diferentes ($\alpha=0.05$; Tukey)

El tiempo dedicado al consumo de ensilado, sólo manifestó diferencia ($P<0.05$) entre los niveles 2 y 4 kg de concentrado administrado por vaca por día. El promedio de tiempo observado 95.5 min en vacas que no se les ofreció concentrado o que sólo recibieron 2 kg, resultó inferior en 18% al tiempo para consumo de ensilado registrado para los niveles 4 y 6 kg concentrado vaca⁻¹ día⁻¹ (Cuadro 21). El incremento en la actividad al consumo de ensilado por las vacas, por el hecho de ofrecer mayor cantidad de concentrado, es indicador de la aceptabilidad del mismo (Figura 3).

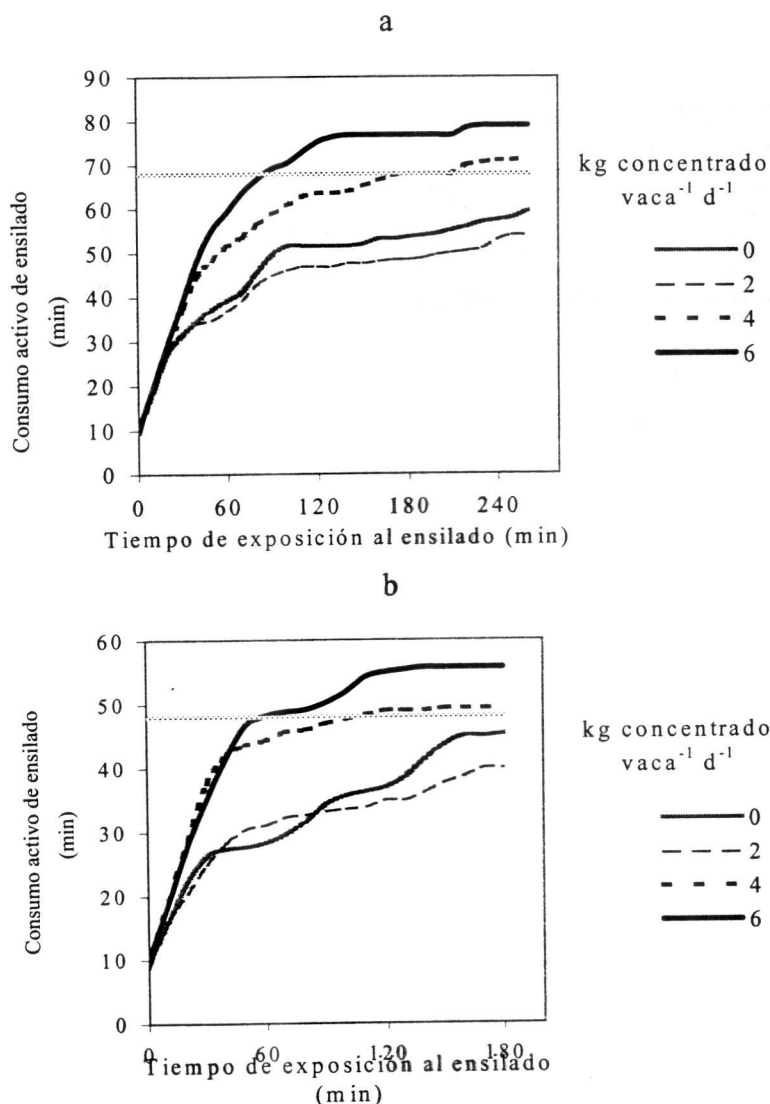


Figura 3. Tiempo gastado en consumo activo de ensilado por vacas lecheras en la mañana (a) y por la tarde (b)

El incremento en la actividad de consumo de ensilado con el aumento de concentrado apareado al porcentaje de rechazo, mejora esa apreciación, así, el ofrecer más allá de 4 kg de concentrado por vaca por día, disminuyó el porcentaje de rechazo 55% al rechazo alcanzado para los niveles 2, 4 y 6 kg vaca⁻¹ día⁻¹.

Cuadro 22. Rechazo de suplemento como porcentaje del ensilado ofrecido. Proteína Cruda y Contenido de Fibra Detergente Neutro del suplemento rechazado (% de MS)

	Kg concentrado $v^{-1} d^{-1}$				Error Estándar	Pr > F
	0	2	4	6		
Ensilado rechazado %	20.4 a	17.9 a	15.0 a	8.0 b	3.0	0.0059
Proteína Cruda	7.8 c	8.5 b	9.2 a	9.1 a	0.25	0.0050
Fibra Detergente Neutro	63.0	62.9	58.5	64.8	1.91	0.1561

Medias con la misma literal en la misma hilera no son diferentes ($P > 0.05$)

El comportamiento observado por los niveles de suplementación en tiempo de consumo de ensilado en la Figura 3 y los datos de rechazo en el Cuadro 22, indican que un nivel aceptable de rechazo se puede lograr en un tiempo corto de exposición al consumo de ensilado, cuando se ofrece entre 4 y 6 kg concentrado $vaca^{-1} día^{-1}$ (Figura 3).

Un incremento en el tiempo dedicado a descanso se empezó a observar ($P < 0.05$) a partir de que se ofreció 4 kg concentrado $vaca^{-1} día^{-1}$, promedio que resultó 26% superior al tiempo dedicado para descanso por las vacas que no recibieron concentrado (Cuadro 21). La cantidad de concentrado ofrecido a las vacas no afectó ($P > 0.05$) el tiempo de pastoreo en los primeros intervalos de tiempo después de iniciado el pastoreo sobre avena-ballico y alfalfa-ovillo. Sin embargo, el nivel de concentrado afectó ($P < 0.05$) el tiempo de pastoreo activo en el intervalo mayor a 90, en ambas sesiones de pastoreo tanto en la de avena-ballico (sesión matutina) como en la alfalfa-ovillo (sesión tarde y noche) (Cuadro 23).

El mayor tiempo al pastoreo activo en el intervalo mayor a 90 minutos en la sesión sobre avena-ballico, correspondió al nivel 2 kg de concentrado $vaca^{-1} día^{-1}$ y al tratamiento que no recibió concentrado con un promedio de 92.5 minutos superior en 20% al alcanzado como mínimo para los niveles 4 y 6 kg de concentrado $vaca^{-1} día^{-1}$. El incremento en el tiempo dedicado al pastoreo activo con el aumento en la cantidad concentrado ofrecido

en la sesión sobre alfalfa-ovillo, en el intervalo mayor a 90 minutos, sólo fue posible hasta el nivel de 4 kg concentrado por vaca por día, no observando respuesta el tiempo a pastoreo por arriba de este nivel (Cuadro 23). El tiempo dedicado al pastoreo activo 135 min registrado en el tratamiento que no recibió concentrado fue 55% superior al promedio alcanzado como mínimo para las vacas que recibieron 4 ó 6 kg de concentrado día⁻¹.

Cuadro 23. Pastoreo activo (min) durante diferentes momentos en la sesión de pastoreo matinal en avena-ballico (cultivo) y en la sesión de la tarde y noche en alfalfa-ovillo (pradera)

Sesión de Pastoreo y tipo de forraje	Intervalo (min)	kg concentrado vaca ⁻¹ día ⁻¹				Media
		0	2	4	6	
Mañana, cultivo	0-30	30	30	30	28	
	31-60	29	30	29	29	
	61-90	29	29	29	26	
	>90	87 a	98 a	75 b	79 b	
Tarde y Noche, pradera	0-30	29	30	29	28	
	31-60	29	29	28	29	
	61-90	28	26	26	26	
	>90	135 a	113 b	87 c	91 c	
Cultivo	Total	174 ab	184 a	162 ab	159 b	170 B
Pradera	Total	222 a	198 ab	170 b	174 b	189 A

Medias seguidas de una misma literal minúscula o sin ella en cada hilera no son diferentes (P>0.05).

Medias seguidas con la misma literal mayúscula en cada columna no son diferentes (P>0.05).

A pesar de que en los primeros intervalos en cada sesión de pastoreo no se presentó efecto del nivel de concentrado, en el tiempo de pastoreo activo, cuando se comparó el tiempo total para cada sesión, el nivel de concentrado modificó (P<0.05) el tiempo de pastoreo para ambas sesiones de pastoreo (avena-ballico y alfalfa-ovillo), aunque algunas diferencias se perdieron (Cuadro 23). En la sesión de pastoreo sobre avena-ballico la única diferencia completa fue observada en el tiempo de pastoreo total entre

los niveles 2 y 6 kg vaca⁻¹ día⁻¹. Para el caso de la sesión sobre alfalfa-ovillo la disminución ($P<0.05$) en el tiempo de pastoreo activo total sólo fue observado a partir de que se ofreció 4 kg concentrado vaca⁻¹ día⁻¹ y sin observar mayor variación a un nivel mayor (Cuadro 23).

Las diferencias en el tiempo de pastoreo activo analizada en cada intervalo después de iniciado el pastoreo en avena-ballico y alfalfa-ovillo y observando la distribución promedio de la actividad de pastoreo en la Figura 4, hace pensar que la variación en los niveles de concentrado ofrecido en el tiempo dedicado a pastoreo activo, se debieron principalmente a variaciones en el tiempo de pastoreo nocturno sobre alfalfa-ovillo.

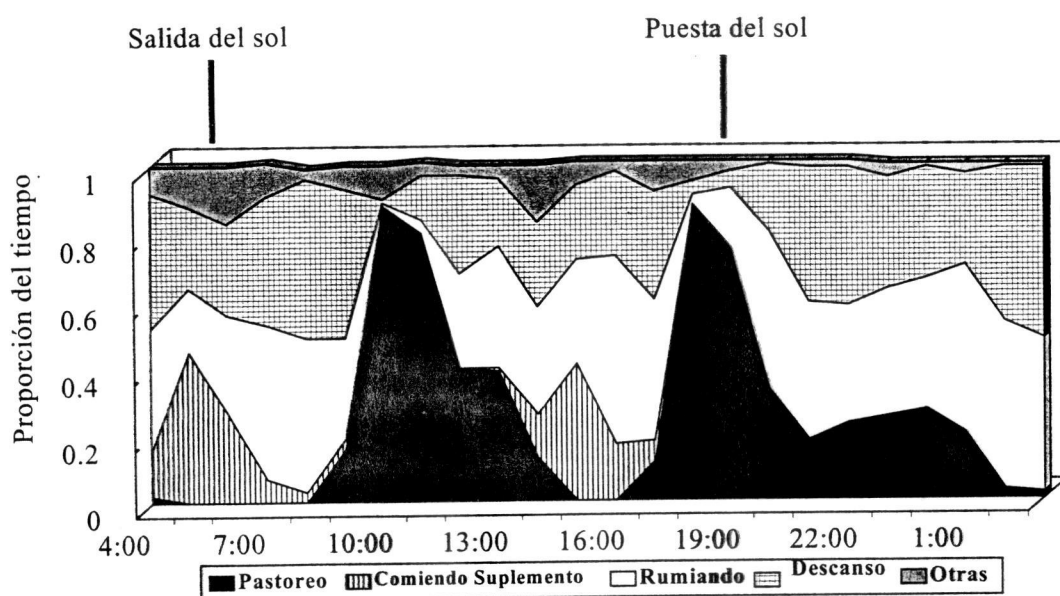


Figura 4. Patrón de actividades diarias de vacas lecheras pastoreando praderas de avena-ballico y praderas de alfalfa-ovillo

Esta aseveración resulta más contundente cuando se observa la superioridad del 11% ($P<0.05$) en el tiempo dedicado al pastoreo activo en la sesión sobre alfalfa-ovillo respecto al registrado en la sesión sobre avena-ballico (Cuadro 23).

4.7.2 Tasa de bocados y bocados totales

El ofrecer concentrado a vacas lecheras en pastoreo modificó ($P<0.05$) la tasa de bocados (Cuadro 24).

El permitir un ofrecimiento a las vacas de 4 ó 6 kg de concentrado por día resultó en 34.5 boc min⁻¹ inferior en 19% a la tasa promedio registrada en las vacas que no recibieron concentrado y en aquellas que sólo recibieron 2 kg al día (Cuadro 24).

El suplementar 4 ó 6 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹, en general disminuyó la tasa de bocados en cada sesión de pastoreo, sin embargo cuando se comparó la tasa promedio para cada sesión, la obtenida en pradera permanente fue superior en 25% a la registrada en avena-ballico.

Cuadro 24. Tasa de bocados (bocados min⁻¹) durante diferentes intervalos de tiempo de sesión matutina de pastoreo sobre avena-ballico (cultivo) y sesión vespertina nocturna en alfalfa-ovillo (pradera)

Forraje	Sesión de pastoreo	kg concentrado vaca ⁻¹ día ⁻¹				Media	Error Estándar
		0	2	4	6		
Cultivo	Mañana	35.8 a	38.8 a	33.6 B	29.4 b	34.4 B	1.53
Pradera	Tarde y noche	48.3 ab	48.5 a	38.6 Bc	36.5 c	43.0 A	
Media de tratamiento		42.0 A	43.7 A	36.1 B	32.9 B		2.09

Medias con la misma literal dentro de cada hilera no son diferentes ($P>0.05$)

El ofrecer concentrado a las vacas y el tipo de forraje influyeron ($P<0.05$), sobre la tasa de bocados (Cuadro 24). La tasa de bocados registrada en las vacas sin concentrado y en aquellas que sólo recibieron 2 kg vaca⁻¹ día⁻¹ en alfalfa-ovillo de 37.3 boc min⁻¹, fue superior 18.4 al promedio registrado en vacas con 4 y 6 kg, este mismo comportamiento de la tasa de bocados se observó en el pastoreo de alfalfa-ovillo.

Los días en que se registró la tasa de bocados no modificaron ($P>0.05$) la respuesta a la suplementación, sin embargo, la tasa de bocados si fue afectada ($P<0.05$) por recurso

forrajero, la tasa de bocados registrada en alfalfa-ovillo de $43.0 \text{ boc min}^{-1}$ fue mayor ($P<0.05$) a la registrada cuando las vacas pastoreaban avena-ballico anual.

El nivel de concentrado consumido por vacas lecheras en pastoreo varió la tasa de bocados en diferentes momentos de estancia después de entrar a las sesiones de pastoreo sobre avena-ballico y alfalfa-ovillo después del inicio del pastoreo (Figura 5).

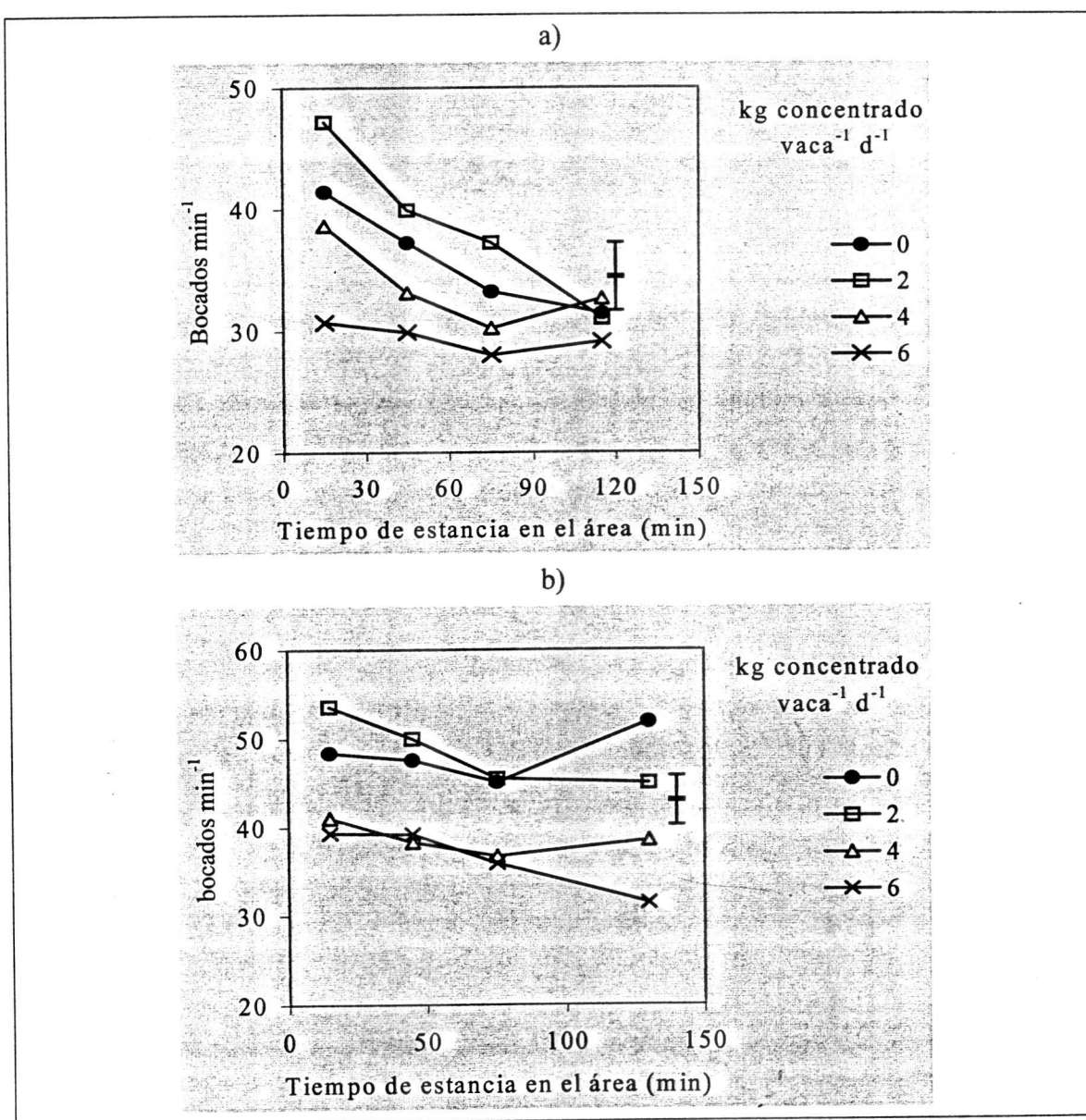


Figura 5. Tasa de bocados (bocados min^{-1}) a diferentes momentos de la sesión de pastoreo de la mañana sobre cultivo forrajero (a) y a diferentes momentos en la sesión de la tarde y noche en pradera permanente (b) (la barra vertical representa $2 \times$ error estándar)

Al inicio de la estancia sobre avena-ballico, el aumento en el nivel de concentrado ofrecido a las vacas disminuyó ($P<0.05$) la tasa de bocados, pero a partir de los 120 minutos el nivel de concentrado poco pudo influir ($P>0.05$) sobre la tasa de bocados (Figura 5). La reducción en la tasa de bocado con el nivel de concentrado en distintos momentos de estancia a partir de iniciar el pastoreo en alfalfa-ovillo, sólo pudo observarse a partir de cuando se ofreció 4 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹, aunque más halla de este nivel no se pudo corroborar esta decremento de la tasa. Sin embargo a partir de los 130 minutos de estancia en el área de pastoreo sobre alfalfa-ovillo, la tasa de bocados disminuyó ($P<0.05$) con el nivel de concentrado ofrecido (Figura 5).

La caída más pronunciada en la tasa de bocados en la sesión sobre avena-ballico y la poca recuperación de ésta más allá de los 70 minutos de estancia en el área de pastoreo, se puede explicar debido al cambio tan fuerte en la arquitectura de la pradera en intervalos muy cortos de tiempo, sin embargo esto no ocurrió en el caso de alfalfa-ovillo, donde la tasa observó una recuperación, posiblemente debido a una compensación en el consumo de forraje.

La cantidad de concentrado ofrecido a las vacas modificó ($P<0.05$) el número de bocados totales. El nivel de concentrado varió ($P<0.05$) la respuesta al número de bocados totales en cada intervalo durante la sesión de pastoreo en avena-ballico, sin embargo, en el intervalo 61-90 en la sesión de pastoreo sobre alfalfa-ovillo la cantidad de concentrado no mostró ($P>0.05$) efecto en el número de bocados totales dados por las vacas. En los intervalos de tiempo en la sesión de pastoreo sobre avena-ballico donde hubo efecto del nivel de concentrado, los grupos que recibieron 2 y 6 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹, reflejaron el mayor y el menor numero de bocados total respectivamente para cada intervalo de tiempo en ésta sesión, sin embargo, en la sesión de pastoreo sobre

alfalfa-ovillo si bien en tres intervalos el nivel 2 kg concentrado vaca⁻¹ día⁻¹ mostró la mayor cantidad de bocados, el nivel 6 kg concentrado vaca⁻¹ día⁻¹ sólo observó la menor cantidad de bocados en dos de los tres intervalos, la menor cantidad de bocados restante se le adjudicó al grupo de vacas que recibieron 4 kg de concentrado por día (Cuadro 25). El nivel de concentrado ofrecido a las vacas no mostró ($P>0.05$) efecto en el número de bocados totales tanto en la sesión de pastoreo sobre avena-ballico como en la de alfalfa-ovillo. Sin embargo, el nivel de concentrado afectó ($P<0.05$) el número de bocados totales de ambas sesiones de pastoreo (Cuadro 25). No ofrecer concentrado a las vacas o el ofrecer sólo 2 kg resultó en promedio 14332 bocados vaca⁻¹ día⁻¹, superior en 33% al registrado en vacas recibiendo 6 kg de concentrado por día.

Cuadro 25. Número total de bocados durante diferentes intervalos en la sesión de matutina de pastoreo sobre avena-ballico (cultivo) y la sesión vespertina nocturna sobre alfalfa-ovillo (pradera)

Sesión de pastoreo y tipo de forraje	Intervalo (min)	kg concentrado vaca ⁻¹ día ⁻¹				Promedio
		0	2	4	6	
Mañana, cultivo	0-30	1248 ab	1390 a	1145 ab	828 b	
	31-60	1110 ab	1218 a	963 ab	832 b	
	61-90	969 ab	1086 a	879 ab	676 b	
	>90	2593 ab	2831 a	2508 ab	2243 b	
Tarde y Noche, pradera	0-30	1418 ab	1578 a	1170 bc	1074 c	
	31-60	1378 ab	1435 a	1090 b	1122 ab	
	61-90	1364	1252	1088	1011	
	>90	3392 bc	4401a	3888 ab	2941 c	
Cultivo	Total	5920	6525	5495	4579	5630 B
Pradera	Total	7552	8666	7236	6148	7400 A
	Totales	13472 ab	15191 a	12731 b	10727 c	

Medias seguidas de una misma literal o sin ella dentro de hileras no son diferentes ($P>0.05$)

Medias seguidas de una misma literal dentro de columna no son diferentes ($P>0.05$)

Aun cuando no se observó influencia del nivel de concentrado en las sesiones de pastoreo sobre avena-ballico y en alfalfa-ovillo, cuando se compararon el promedio de bocados entre ambas sesiones, la sesión de pastoreo alfalfa-ovillo resultó en 7400 boc vaca⁻¹ día⁻¹, superior ($P<0.05$) en 31% más bocados en comparación con la sesión de pastoreo en avena-ballico.

4.8 Consumo de forraje y materia seca total y tasa de sustitución

La cantidad de concentrado ofrecido a las vacas varió ($P<0.05$) el consumo de forraje por vaca y por 100 kg de PV, estimado a partir del muestreo del área de pastoreo, requerimientos y producción fecal (Cuadro 29), por lo que todos los métodos de determinación fueron igual de sensibles para detectar diferencias en el consumo de forraje. El mayor consumo de forraje se ubicó en las vacas que no recibieron concentrado y aquellas que sólo recibieron 2 kg por día, respecto aquellas que se les ofreció 4 y 6 kg de concentrado por día.

La cantidad ofrecida de concentrado no afectó ($P>0.05$) el consumo de MS total estimada a partir de requerimientos y producción fecal, por lo que ambos métodos fueron igual de sensibles para no notar variación en esta variable, sin embargo el consumo de MS total estimado a partir del muestreo de las áreas de pastoreo y comedero si se vio afectado ($P<0.05$) por el nivel de concentrado (Cuadro 28).

Bajo las situaciones del manejo intensivo y de pastoreo en franjas, la masa de forraje ofrecido afectó fuertemente el consumo. En el Cuadro 26 se presentan los componentes de las ecuaciones de regresión para la estimación del consumo de forraje.

Cuadro 26. Ecuaciones de regresión de consumo de forraje [kg MS ha^{-1} (ciclo pastoreo)⁻¹] sobre masa de forraje ofrecido (kg MS ha^{-1}) basado en muestras de calibración apareadas

	Intercepto	Estimación Lineal	R ²	Pr>F	N
Cultivo	-816	0.72	0.72	0.0001	40
Pradera	-1254	0.95	0.82	0.0001	50

La interacción entre el nivel de suplementación y el recurso forrajero no fue significativa ($P>0.05$), para el consumo de forraje por vaca y por 100 kg de PV a partir del muestreo del área de pastoreo (datos no presentados), sin embargo el consumo de forraje por 100 kg de PV promedio en avena-ballico fue superior ($P<0.05$) respecto al presentado en alfalfa-ovillo (Cuadro 27).

Cuadro 27. Consumo de forraje por vaca y por 100 kg de peso vivo (PV) en alfalfa-ovillo (pradera) y avena-ballico (cultivo), estimado a partir del muestreo de áreas de pastoreo.

	Cultivo	Pradera	Error Estándar	Pr > F
Consumo de forraje $\text{kg MS (100 kg PV)}^{-1} (0.5 \text{ d})^{-1}$	0.955	0.837	0.075	0.2154
Consumo de forraje $\text{kg MS vaca}^{-1} (0.5 \text{ d})^{-1}$	5.15	4.51	0.40	0.2032

La tendencia general de los tres métodos a partir de los cuáles se estimó consumo de MS de forraje fue a disminuir el consumo de forraje conforme se aumentó el nivel de ofrecimiento de concentrado a la vacas, a excepción de la estimación del consumo de forraje del tratamiento con 2 kg de concentrado estimado a partir del muestreo del área de pastoreo y comedero (Cuadro 28 y Figura 6).

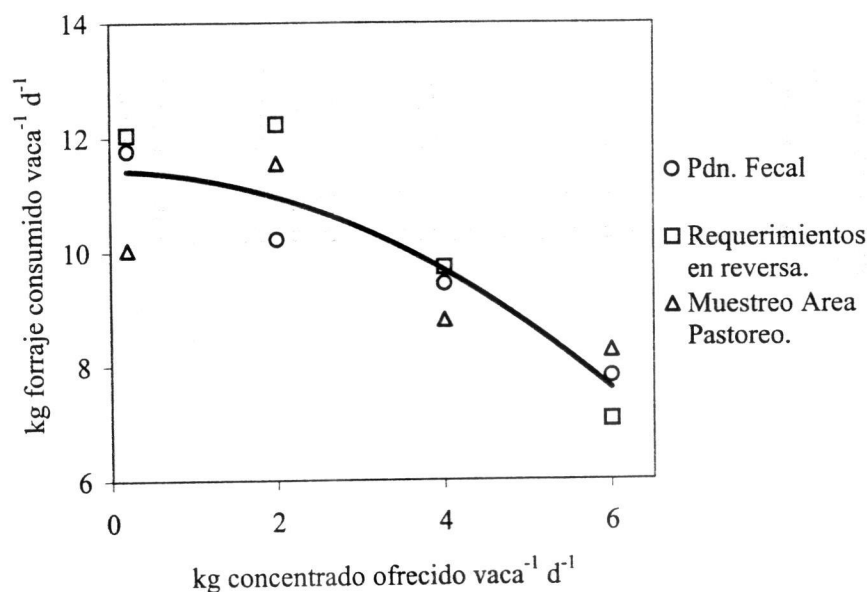


Figura 6. Estimación del consumo de forraje/vaca/día a través de diferentes métodos

Pocas diferencias en la estimación del consumo de forraje entre metodologías causaron efectos muy variables en la tasa de sustitución (Cuadro 28).

El nivel de concentrado ofrecido a las vacas afectó ($P < 0.05$) la tasa de sustitución encontrada a partir del muestreo de las áreas de pastoreo y comedero. Cuando se suplementó con 2 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹, no existió sustitución, además a partir de 4 y hasta 6 kg ésta se mantuvo constante (Cuadro 28). El nivel de concentrado suplementado a las vacas no afectó ($P > 0.05$) la tasa de sustitución cuando ésta fue estimada a partir de producción fecal lo que indicó que ésta se mantuvo a pesar de la variación en el concentrado, sin embargo cuando se estimó a partir de requerimientos, la tasa de sustitución mostró una tendencia a incrementarse conforme se proporcionó más concentrado a las vacas en pastoreo, aunque esta variable no fue procesada en el análisis de varianza. Las diferencias en la tasa de sustitución, son probablemente debidas a la dificultad en la estimación en el consumo de forraje de los animales en pastoreo.

Cuadro 28. Consumo de forraje y MS total estimados a través de producción fecal, cálculo en reversa de los requerimientos nutricionales y muestreo del área de pastoreo; tasa de sustitución de acuerdo a diferentes métodos usados para estimar consumo

		Kg concentrado vaca ⁻¹ día ⁻¹								St. Error	P
Método		0		2		4		6			
Kg MS de forraje vaca ⁻¹ día ⁻¹	Prod. fecal	11.77	A	10.22	a	9.44	b	7.81	b	0.70	0.0088
	Requerimientos	12.05	a	12.23	a	9.73	ab	7.05	b	1.09	0.0126
	MAPC	10.04	ab	11.55	a	8.80	b	8.26	b	0.77	0.0052
Kg MS de forraje (100 kg PV) ⁻¹ día ⁻¹	Prod. fecal	2.30	a	1.90	a	1.73	ab	1.40	b	0.14	0.0033
	Requerimientos	2.34	a	2.27	a	1.80	ab	1.27	b	0.21	0.0075
	MAPC	1.94	a	2.15	a	1.61	b	1.47	b	0.14	0.0025
Kg MS total Vaca ⁻¹ día ⁻¹	Prod. fecal	15.21	c	15.57	bc	16.87	ab	17.89	a	0.50	0.0060
	Requerimientos	15.49		17.59		17.16		17.13		0.93	0.4226
	MAPC	13.10	b	16.53	a	15.85	a	17.85	a	0.90	0.0061
Kg MS total (100 kg PV) ⁻¹ día ⁻¹	Prod. fecal	2.97		2.90		3.10		3.25		0.18	0.5379
	Requerimientos	3.01		3.27		3.18		3.12		0.23	0.8768
	MAPC	2.53	b	3.07	a	2.89	a	3.18	a	0.17	0.0343
Tasa de sustitución kg MS forraje pastoreado (kg MS concentrado) ⁻¹	¹ Prod. fecal			-0.855		-0.620		-0.660			
	¹ Requirimientos			0.099		-0.618		-0.833			
	MAPC			0.833	a	-0.330	b	-0.297	b		
	² Prod. Fecal			-0.676		-0.676		-0.676		0.61	0.0001
	² Requerimientos			-0.262		-0.543		-0.868		0.56	0.0001

Medias con la misma literal en una misma hilera no son diferentes ($p > 0.05$). MAPC=muestreo de área de pastoreo y comedero.

¹ No procesadas en el análisis de varianza

² Estimación de la sustitución basado sobre ecuaciones de regresión de consumo de MS de forraje sobre el consumo de MS de concentrado:

Prod. fecal: Consumo de forraje = $11.782 - 0.676$ (consumo de concentrado), $R^2=0.61$, $p=0.0001$, $n=20$;

Requerimientos: Consumo de forraje = $12.275 - 0.1447$ (consumo de concentrado)², $R^2=0.56$, $p=0.0001$, $n=20$.

5. DISCUSIÓN

5.1 Estimación y características de la masa de forraje

La participación de las ecuaciones de regresión (Anexo 4 y 5) para estimar masa de forraje a partir de medidas de altura y visual comparativa, estuvo justificado su uso en el sentido de alcanzar niveles aceptables de precisión a bajo costo, en el muestreo de las áreas de pastoreo, además, su uso se justifica en situaciones de tomar una decisión rápida sobre el manejo. Para mejorar la estimación, en muchos casos, se combinaron para obtener la mejor predicción de la masa como lo reportado por Gabriëls y Van der Berg (1993).

La existencia de diferencias en forraje ofrecido en alfalfa-ovillo, en tres momentos de muestreo de las áreas de pastoreo, se debió principalmente a características propias de las áreas y a que el 43% del área estaba en su primer momento de pastoreo después de ser sembradas, y además de que la masa no presentaba un patrón homogéneo en toda el área.

La masa de forraje ofrecido obtenida en avena-ballico anual fue superior en 35% a la masa de alfalfa-ovillo (Cuadro 16), esta magnitud en superioridad fue inferior a la reportada por Martínez (1999) y Cortez (1998) quienes reportan que la masa de avena-ballico anual fue superior en 56 y 58% respectivamente a la masa de alfalfa-ovillo.

La masa de forraje ofrecido obtenida en este trabajo para avena-ballico anual (Cuadro 16) es superior a la reportada por Dorantes (1997) de 2500 kg MS ha⁻¹ y al 5285 kg MS ha⁻¹ de Pérez (1999), muy parecida al 5890 kg MS ha⁻¹ obtenido por Martínez (1999).

La cantidad de masa de forraje ofrecido en alfalfa-ovillo (Cuadro 16) fue inferior al 4537.5 kg MS ha⁻¹ reportada por Cortez (1998) y superior a los 3768 kg MS ha⁻¹, reportado por Martínez (1999), aunque se destaca la igualdad de edades de 1 y 2 años en

las praderas, además de utilizarse mayor cantidad de potreros de alfalfa-ovillo en su primer pastoreo, comparado con el de Cortez (1998).

Sánchez *et al.* (1996) indican que la variación en la masa de forraje en praderas de alfalfa-ovillo entre años, está dada por variaciones en las condiciones ambientales.

La ausencia de diferencias ($P>0.05$) en masa de forraje residual (Cuadro 17) en cada nivel de concentrado, aunque no se logró entre recurso forrajero, y la ausencia de diferencias en el grado de defoliación, como indicador de la utilización, indicaron que las forrajeras y los tratamientos estuvieron bien manejados.

Las diferencias en masa de forraje en oferta, entre forrajeras se relaciona con lo reportado por Sánchez *et al.* (1996), quienes mencionan que la masa de forraje residual tiene una fuerte correlación con la masa de forraje ofrecido, mayor a mayores masas y viceversa.

La tasa de acumulación de avena-ballico anual ($47.3 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) y alfalfa-ovillo ($27 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) calculadas a partir del muestreo de áreas de pastoreo apareadas, en el caso de cultivo forrajero fue muy semejante a la obtenida por Dorantes (1997) de $52 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Esta mayor tasa de acumulación de los cultivos invernales (cereales), ha sido señalada por Muslera y Ratera (1991), quienes mencionan la mayor capacidad de producción neta de forraje de éstos, en invierno, por su mejor adaptación y tolerancia a más bajas temperaturas.

Los factores asociados a diferencias entre avena-ballico anual y alfalfa-ovillo en mayor carga animal y producción neta de forraje de avena-ballico anual en este experimento confirma la ventaja de incluir en el sistema la rotación de cultivo anual.

El grado de defoliación obtenido en este experimento para avena-ballico anual de 0.569 fue inferior al reportado por Martínez (1999), parecido al de Pérez (1999), y superior al de Dorantes (1997) y al de Cortéz (1998).

El grado de defoliación encontrado para alfalfa-ovillo de 0.603 fue más alto al reportado por Martínez (1999), Cortéz (1998), Sánchez *et al.* (1996), Wales *et al.* (1999) y Stockdale (1985).

Bajo este tipo de manejo intensivo del pastoreo, la masa de forraje ofrecido tuvo una alta correlación con el consumo de forraje (Cuadro 26), como lo reporta Stockdale (1985).

La utilización más alta obtenida en alfalfa-ovillo respecto a avena-ballico, fue contraria a la reportado por Martínez (1999). Esta variación es debida probablemente a diferencias en la edad de las praderas, mayor en las utilizadas por Martínez (1999) respecto a las de este experimento, la variación en la edad, se debe a que la cantidad de forraje en la parte baja del dosel se incrementó con la edad, por el incremento de material muerto y ovillo en la composición botánica (Figura 2), que implicó mayor cantidad de forraje menos accesible al animal por la imposibilidad a hacerse de él a menores alturas. López (1995) reportó que la proporción de ovillo en la masa de forraje ofrecido en el cuarto año de edad de la pradera alfalfa-ovillo (renovada después del tercer año), fue alta en la parte baja del dosel. La proporción del forraje sobre 10 cm reportado por López (1995) fue de 39%, por medio de la interpolación con una ecuación exponencial utilizada por este autor para la estructura del dosel, se estima que para este experimento el 50% del forraje estuvo sobre 6.3 cm, lo cual es más bajo que el dato real encontrado en este experimento para forrajes jóvenes. La alta proporción de malezas (principalmente especies anuales de hoja ancha) y la baja proporción de material muerto, podrían también considerarse como características de praderas de primer año de edad.

El manejo de la masa de forraje residual estandarizada para todos los niveles de concentrado a través de lograr igual utilización, mediante la variación en la dimensión del área de pastoreo, fue clave para localizar la respuesta a la suplementación con concentrado.

Los cambios en la composición botánica de avena-ballico anual (Figura 1), con el avance de la estación de crecimiento, son comparables a los resultados obtenidos por Améndola y Morales (1997). Sin embargo, los cambios en la composición morfológica, podrían también estar relacionados con cambios en la madurez del forraje. La dimensión de las áreas asignadas resultó inferior a lo originalmente estimado, incrementando el periodo de ocupación, la madurez del forraje y la masa de forraje ofrecido en las áreas muestreadas en posteriores momentos de muestreo.

5.2 Características del ensilado y composición

La respuesta en tiempo al consumo de suplemento probablemente refleja un incremento aparente en la aceptabilidad del ensilado con incrementos crecientes en la cantidad de concentrado. Este cambio se ilustra más claramente en la Figura 3, donde se muestra la más intensa actividad al consumo de ensilado por vacas recibiendo 4 ó 6 kg de concentrado, desde el momento en que se expusieron al suplemento, mientras que las vacas que sin concentrado o que sólo recibieron 2 kg, su actividad de consumo de ensilado fue menor aún en tiempos de exposición mayores.

La aceptabilidad en el consumo de ensilado creciente con niveles mayores de concentrado ofrecido se calculó a partir de disminuciones en el porcentaje de rechazo de ensilado (Cuadro 22) y la suposición de que el ensilado y el concentrado fueron perfectamente mezclados, se corroboró con el contenido de PC del ensilado rechazado

(Cuadro 22), que indicó que el ensilado y concentrado fueron perfectamente mezclados sin posibilidad de un consumo selectivo.

La reducción en el rechazo de ensilado de maíz con el incremento en la suplementación con concentrado indica, que el alcance de rechazos moderados con niveles altos de ensilado, se pueden lograr con la mezcla de 4 a 6 kg concentrado, por el incremento en la aceptabilidad del suplemento (Figura 3) y además disminuye de manera importante el tiempo en confinamiento y como consecuencia se puede aumentar el tiempo de permanencia en las áreas de pastoreo e incrementar el consumo de forraje y por tanto mejorar la respuesta a la suplementación.

El contenido de proteína cruda (PC) y el contenido de materia seca del ensilado de maíz usado en este experimento fue comparable a los contenidos de ensilados en experimentos previos. Sin embargo por razones desconocidas el contenido de FDN fue más alto en este experimento, aun así su composición es comparable a lo reportado en la región por Andrade y Contreras (1997).

5.3 Respuestas a la suplementación con concentrado

Aunque la mayor producción individual de leche se dio cuando se suplemento con 4 ó 6 kg de concentrado $\text{vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, estimando la respuesta individual (Cuadro 20) en leche extra por kg de concentrado consumido obtenidos en los tratamientos 2, 4 y 6 kg concentrado $\text{vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, de 0.9, 0.83 y 0.57 kg de leche respectivamente, indican que la respuesta en leche se va perdiendo con un mayor nivel de concentrado, por el incremento en la tasa de sustitución (Cuadro 28), este comportamiento en la respuesta en leche igualmente fue mencionada por otros autores quienes observaron que las mejores respuestas en leche se observaban a niveles más bajos de concentrado y perdiéndose ésta

con niveles mas altos de concentrado (Trigg *et al.*, 1983; Wilkins *et al.*, 1994), sin embargo la magnitud de la respuesta individual, está por arriba 0.5 de respuesta reportado por Kempton (1983) y 0.35 de Meijs y Hoekstra (1984) y muy por debajo de las respuestas reportadas como máximas a la suplementación con concentrado por Stockdale (1999) de 2.33 a 2.5 kg leche kg concentrado⁻¹.

La suplementación con 6 kg concentrado vaca⁻¹día⁻¹, no fue suficiente para cambiar ($P>0.05$) los componentes de la leche, observándose tendencia a incrementar proteína y sólido no grasos en 0.09% y 0.16% respectivamente por kg de suplemento de ofrecido, hasta el nivel 4 kg concentrado vaca⁻¹ día⁻¹ (Cuadro 20). Para este caso se esperaba una disminución en la concentración de grasa y el posible incremento de algunos componentes hasta cierto nivel de concentrado (Grainger y Mathews, 1989; Reeves *et al.*, 1996; Reis y Combs, 2000; Sayers *et al.*, 2000) como consecuencia de la reducción de la FDN en la dieta. Sin embargo, la proporción de FDN necesaria para mantener el contenido de grasa constante en leche, incrementa con el nivel de consumo (Dixon y Stockdale, 1999). Existen algunos reportes que indican incrementos del contenido de proteína en leche (Wilkins *et al.*, 1994; Reis y Combs, 2000; Sayers *et al.*, 2000) sin embargo los resultados no son consistentes sobre el efecto de la suplementación con concentrado sobre el contenido de proteína en leche (Grainger y Mathews, 1989; Clements *et al.*, 1992).

Lo obtenido en este experimento, en composición de la leche, coincide perfectamente con lo que se reporta en la literatura, de no existir una tendencia clara con la suplementación con concentrado.

La suplementación con concentrado rica en PNDR, utilizada en este experimento tendió ($P=0.06$) a reducir el nivel NUL. El NUL de vacas no suplementadas estuvo ligeramente

por debajo del límite superior de 19 mg/dl considerado por Butler (1998) para vacas lecheras con problemas reproductivos debido probablemente a la reducción del contenido de PDR de la dieta total (Figura 7), aunque el nivel NUL es dependiente de muchos factores (Godden *et al.*, 2001).

Una estimación del consumo de energía metabolizable (EM), proteína degradable en rumen (PDR) y proteína no degradable en rumen (PNDR) por los diferentes grupos de vacas fueron comparados con requerimientos para niveles medios de producción considerando nulos cambios de peso vivo de acuerdo al NRC (1989). Los resultados indican que la PDR fue alta y la PNDR fue baja cuando las vacas fueron alimentadas con menos de 4 kg de concentrado (Figura 7), lo que implica que no se debe suplementar menos de 4 kg con base en la composición del concentrado utilizado.

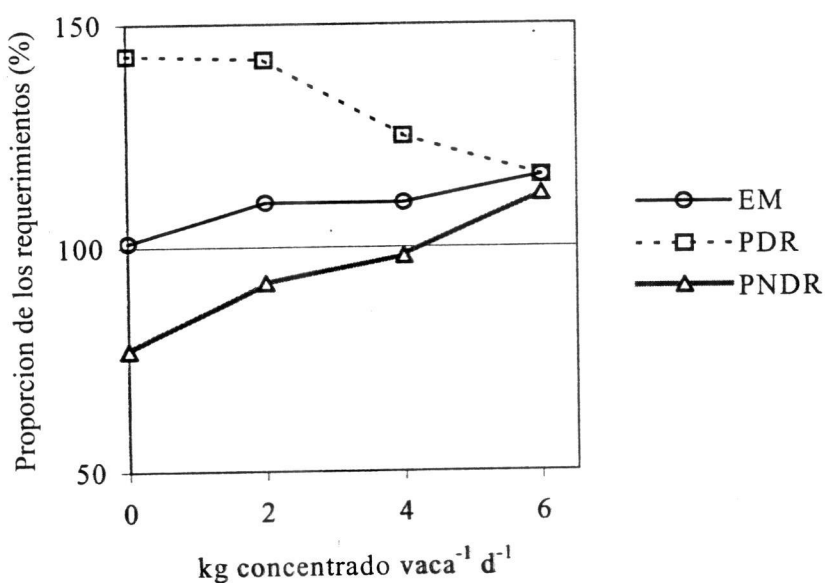


Figura 7. Proporción de los requerimientos de Energía Metabolizable (EM), Proteína Degradable en Rumen (PDR) y Proteína no degradable en Rumen (PNDR), de acuerdo al nivel de producción, considerando que el peso vivo no cambió, de vacas lecheras en pastoreo recibiendo distinto nivel de concentrado ofrecido. Requerimientos calculados de acuerdo al NRC (1989)

Comparando los niveles de NUL obtenidos en este experimento (Cuadro 20) con los obtenidos por Martínez (1999) en un trabajo previo de 32.5 mg dl⁻¹ en promedio, esto implica una importante mejoría, y comparando los niveles de producción con 3 kg de concentrado comercial con 12 ó 18 kg de ensilado de maíz (18 y 17.6 kg leche vaca⁻¹ día⁻¹ respectivamente), con lo obtenido en este experimento con 16 kg de ensilado de maíz y 2 ó 4 kg concentrado vaca⁻¹ día⁻¹ (21.4 y 22.9 kg leche vaca⁻¹ día⁻¹ respectivamente), esta comparación sugiere un importante mejoramiento en los niveles de producción.

Considerando que en ambos experimentos las vacas pastorearon el mismo tipo de forrajeras, en la misma estación y que no hubo importantes diferencias en términos del potencial de producción, edad y etapa de lactación, se podría concluir que las principales diferencias en producción fueron debidas, parcialmente a la reducción en el contenido de PDR y el incremento de carbohidratos fácilmente fermentables en el concentrado consumido. Además se adiciona el hecho de que se mejoró el balance mineral en suero sanguíneo por parte de las vacas después de consumir concentrado y el suplemento mineral respecto al inicio del experimento donde las vacas estaban sujetas a otro tipo de concentrado y suplemento mineral (Barragán, 2001).

La tendencia en el mejoramiento del nivel de NUL (Cuadro 20) de vacas suplementadas entre 2 y 6 kg de concentrado, implica la posibilidad de un mejor comportamiento reproductivo de vacas suplementadas y si se le adiciona que estas vacas alcanzaron mejores ganancias de peso, esto se potencializa. Las ganancias de peso obtenidas (Cuadro 20), son semejantes a las reportadas por Hoden *et al.* (1991) y Wales *et al.* (2000). Sin embargo Reeves *et al.* (1996) y Sayers *et al.* (2000) reportan que la suplementación con concentrado no tuvo efecto sobre la ganancia de peso vivo.

Por la complejidad de las respuestas a la suplementación con concentrado bajo pastoreo, los resultados arrojados en este experimento podrían no ser extrapolables a otras condiciones y sólo enmarcado su uso a condiciones donde fueron generados (Stockdale, 1985) y más aun cuando se analizan la gama de factores incidentes en las respuestas a la suplementación como masa de forraje ofrecido (Stockdale, 1996; Wales *et al.*, 1999), composición del forraje (Wilkins *et al.*, 1994; Stockdale, 1999), el nivel (Reeves *et al.*, 1996; Pulido y Leaver, 1997; Reis y Combs, 2000) y la composición (Fisher *et al.*, 1996; McCormick *et al.*, 1999; Sayers *et al.*, 2000; Schroeder y Gagliostro, 2000) del concentrado administrado.

Los factores animales son un ingrediente extra a la variabilidad en las respuestas a la suplementación, así, el consumo de forraje y la partición de la energía hacia producción de leche y reservas corporales a distinto nivel de suplementación con concentrado, puede variar y afectar la respuesta. La variación en nivel de producción de leche dado por el mérito genético (Pulido y Leaver 1997), edad (Johnson, 1977) o etapa de lactación (Stockdale, 1995), son factores que afectan la variación en la respuesta, pero que correlacionados en nivel de producción, marcan las directrices que indican la posible influencia de la suplementación con concentrado sobre las respuestas en leche.

Leaver (2000) justifica la suplementación, bajo las perspectivas siguientes, una limitación de forraje, algún ingrediente deficiente en el forraje, o cuando se tienen animales de altos requerimientos bajo pastoreo como el caso de vacas altas productoras de leche.

Según Krysl y Hess (1993), el factor que limita más la producción de animales en pastoreo es el consumo de nutrientes, y los factores más variables al consumo de

nutrientes son los asociados al comportamiento ingestivo, para el caso de suplementación.

Las bajas respuestas a la suplementación son comunes y éstas se deben, en parte, al aumento de la sustitución, este incremento se reflejó en la reducción en el tiempo de pastoreo activo (Cuadro 23) de 11 min d⁻¹, entre los niveles de suplementación 2 y 6 kg concentrado vaca⁻¹ día⁻¹ por kg de MS de concentrado consumido. Esta reducción es igual a la reportada por Combellas *et al.* (1979), Pulido y Leaver (1997) y Wales *et al.* (2000). Tomando en cuenta la amplitud de condiciones de estos experimentos y la diversidad de factores incidentes sobre el tiempo de pastoreo cuando se suplementa con concentrados (Leaver, 1985), lo que queda en el aire es si esta similitud de resultados puede usarse para extrapolarlos.

Las diferencias en el incremento del tiempo de pastoreo total, si se visualizan el Cuadro 23 y la Figura 4 se dieron a consecuencia de las variaciones en el pastoreo nocturno, concordando con los resultados de Rook *et al.* (1994a). Estos resultados resaltan la importancia de la observación del pastoreo nocturno a cambios en el manejo.

La reducción en el tiempo de rumia con mayores niveles de suplementación con concentrado, podría reflejar una reducción en el consumo de fibra de la dieta total, sin embargo los estudios en este rubro no son consistentes, así Wales *et al.* (2000) no reporta efecto del tiempo de rumia con la suplementación con concentrado aunque Pulido y Leaver (1997) reportan aumentos.

Si bien Leaver (1985) menciona poco efecto sobre la tasa de bocados con la suplementación con concentrado, la respuesta de ésta en este experimento con 4 y 6 kg concentrado fue a reducirse, lo cual podría estar asociado al estado de hambre antes de entrar a pastorear (Chilibroste, 1999; Soca *et al.*, 1999). La disminución en la tasa de

bocados con el incremento en el tiempo de permanencia en el área de pastoreo (Figura 5), coincide con lo reportado por Chilibraste (1999), como una evolución normal de la tasa de bocados bajo este tipo de manejo del pastoreo.

En el caso de consumo de MS (promedio de estimaciones obtenidas con diferentes métodos), reportada en el Cuadro 28 y el número total de bocados (Cuadro 25), la estimación de la tasa de consumo de forraje y el peso promedio por bocado se hizo. El promedio de tasa de consumo (28 g MS min^{-1}), coincide con la estimación de consumo para vacas lecheras en pastoreo recibiendo suplementación con concentrado (Pulido y Leaver, 1997; Wales *et al.*, 2000) y con la tasa de consumo calculada de los datos de Sayers *et al.* (2000). Esto implica que la tasa de consumo no fue afectada por el nivel de suplementación ($P > 0.10$). Leaver (1985) encontró poco efecto de la tasa de consumo con la suplementación con concentrado. Pulido y Leaver (1997) reportan una reducción de la tasa de consumo en 1.01 g min^{-1} por kg de concentrado consumido.

La tasa de consumo en cultivo anual ($30.3 \text{ g MS min}^{-1}$) fue más alta que en pradera permanente ($23.7 \text{ g MS min}^{-1}$), donde se relacionó al tamaño promedio por bocado para cada recurso (0.92 vs $0.61 \text{ g MS bocado}^{-1}$). De acuerdo a la relación funcional entre tamaño de bocado y tasa de consumo (Mannetje, 2000), se explica más la alta tasa de consumo obtenida en cultivo forrajero. Donde el más alto tamaño de bocado promedio para cultivo anual constituye una ventaja relativa de su inclusión al sistema.

Con excepción de la estimación de consumo basada por producción fecal, los resultados sobre consumo de forraje y comportamiento ingestivo muestran que cuando las vacas fueron suplementadas con 2 kg de concentrado no ocurrió la sustitución (Cuadro 28). La reducción en el consumo de forraje, esta influida por la reducción en las poblaciones de bacterias celulolíticas causada por la reducción en el pH ruminal cuando se suplementan

concentrados (Caton y Dhuyvetter, 1997; Dixon y Stockdale, 1999). Caton y Dhuyvetter (1997) menciona que a bajos niveles de suplementación (30 g/kg peso metabólico), podría no afectarse el consumo de forraje por el poco impacto en la población de bacterias (sustitución mínima). Considerando el promedio de peso vivo de las vacas en este experimento, por encima de 3 kg vaca⁻¹ día⁻¹. Lo que podría explicar el porque no existió sustitución en el nivel más bajo de concentrado suplementado.

La estimación del consumo con base en producción fecal y requerimientos, tuvo un intervalo de $\pm 10\%$ de la media, un coeficiente de correlación (r) de 0.83. Esta correlación resultó más alta que entre estimaciones de consumo de forraje por vacas lecheras en pastoreo basadas sobre los métodos de n-alcenos y óxido crómico reportado por Malossini *et al.* (1996). A pesar de que las relaciones entre ambas estimaciones fueron altamente significativas ($P < 0.001$), el intercepto no fue diferente de 0 ($P > 0.05$) y la comparación entre la pendiente de la ecuación lineal no fue diferente ($p > 0.05$). Esos resultados indican que las estimaciones basadas sobre aquellos dos métodos podrían ser consideradas similares.

Considerando la estimación del consumo por producción fecal, la tasa de sustitución no fue afectada por el nivel de alimentación suplementaria, sin embargo basándose sobre muestreo de forraje y requerimientos, la tasa de sustitución incrementó con el nivel de suplementación con concentrado. En este experimento la tasa de sustitución fue afectada simultáneamente por el incremento en el nivel de suplementación y la disminución en la asignación de forraje.

La falta de precisión en la estimación del consumo de forraje, muestran diversos resultados así Meijs y Hoekstra (1984), Pulido y Leaver (1997) y Sayers *et al.* (2000) no reportan efecto del nivel de concentrado sobre la tasa de sustitución. Reis y Combs

(2000) si bien no reporta efecto del nivel de suplementación sobre la tasa de sustitución, si sugiere que se puede incrementar.

Como una consecuencia de manejo del pastoreo impuesto, la carga animal se incrementó cuando se suplementó con 4 ó 6 kg de concentrado, pero esto no ocurrió cuando se suplementó con 2 kg de concentrado. Estos resultados son consecuencia del efecto de la tasa de sustitución anteriormente discutida.

Hoden *et al.* (1991) y Clements *et al.* (1992) estudiaron la respuesta en producción de leche a la alimentación suplementaria, bajo diferentes cargas animales. El resultado de Clements *et al.* (1992) y el cálculo de los datos reportados por Hoden *et al.* (1991) sobre las respuestas a los factores principales se compararon a los resultados de este experimento en la Figura 8. En ambos casos la producción de leche por hectárea no fueron reportados pero se calcularon de los datos sobre producción de leche por vaca y carga animal. Las diferencias en el nivel de producción de leche por vaca son debidas probablemente a las diferencias en el promedio de días en leche: 80 en el experimento de Clements *et al.* (1992), 158 en el experimento de Hoden *et al.* (1991) y 188 en este experimento.

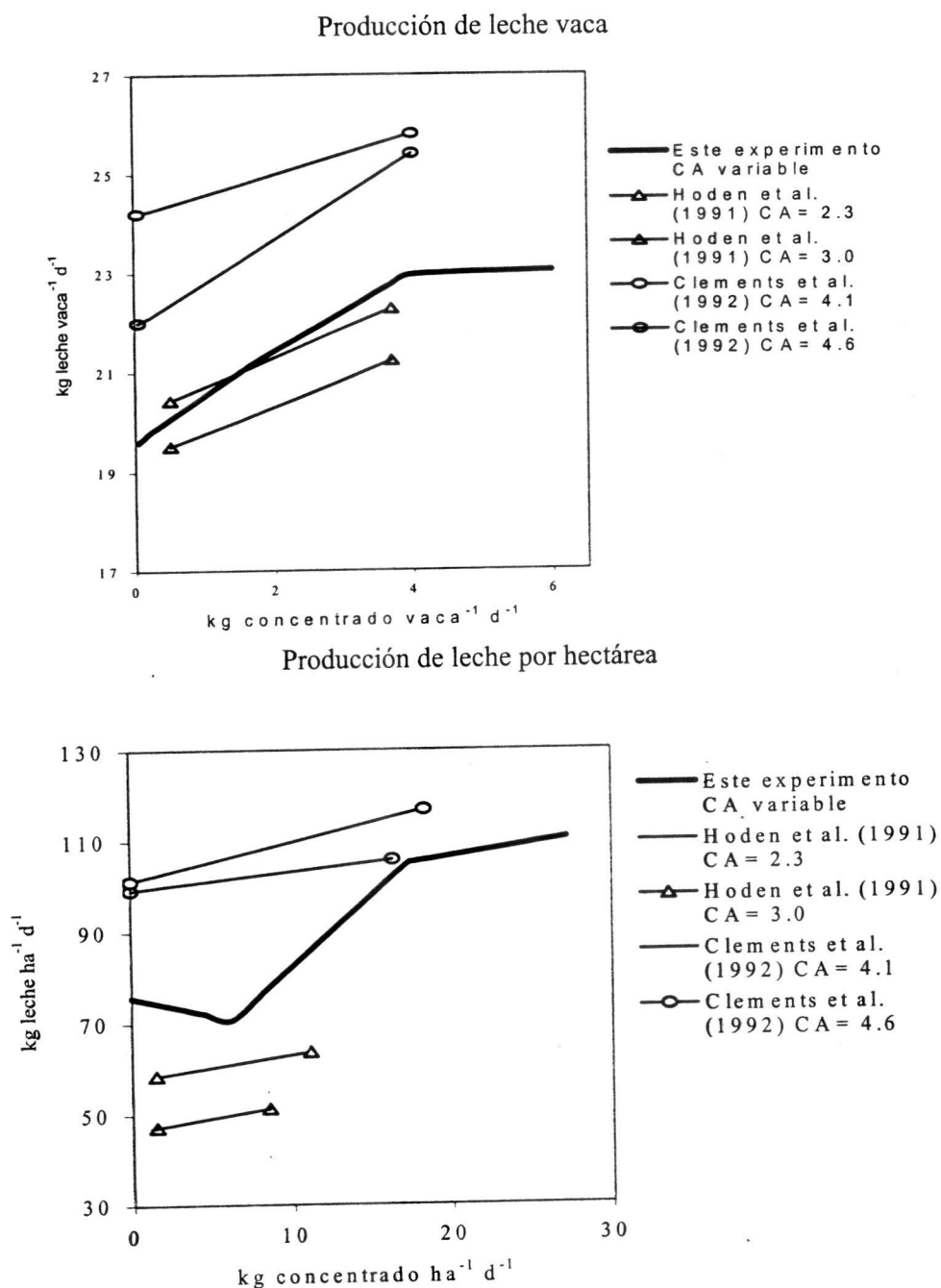


Figura 8. Respuestas a la alimentación suplementaria a diferentes cargas animales en producción de leche por vaca y por hectárea (Resultados de estos experimentos y adaptados de Hoden *et al.* (1991) y Clements *et al.* (1992))

Las diferencias entre experimentos en producción de leche por hectárea son más dependientes del nivel de carga animal que del nivel de suplementación con

concentrado. La baja productividad en el experimento de Hoden *et al.* (1991), fue ocasionado a las bajas cargas usadas. La alta productividad en el experimento de Clements *et al.* (1992) se debió a que las vacas estuvieron en el primer tercio de la lactancia y a la alta carga promedio utilizada. Donde las altas cargas coincidieron con la estación de alta tasa de acumulación en Reino Unido. Las altas productividades encontradas en este experimento con 4 ó 6 kg de concentrado suplementado y la alta carga, es comparable a lo obtenido por Clements *et al.* (1992).

La pérdida de respuesta en producción de leche por ha cuando las vacas fueron suplementadas con 2 kg de concentrado, fue por la imposibilidad de alcanzar una mayor carga animal, aunque la respuesta en producción de leche por vaca fue la más alta. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por McCall y Clark (1999).

Tomando en cuenta que la adopción de esta herramienta tecnológica, refleja la proporción entre el precio del concentrado y la leche (McCall y Clark, 1999), las respuestas por hectárea fueron analizadas considerando esta proporción.

Para el primero de enero del 2000, el precio de la leche fue de U\$0.32/kg y el costo del concentrado usado fue U\$0.22/kg. Tomando en cuenta la relación de precio 0.71 concentrado:leche, se pueden hacer algunas consideraciones acerca de la suplementación con concentrado. Cuando se suplementan 2 kg de concentrado no es factible la suplementación cuando la productividad por hectárea fue analizada. Igualmente cuando se suplementa por arriba de 4 kg concentrado por vaca, la respuesta puede ser marginal. La suplementación con 4 kg concentrado resultó más atractivo económicamente, pero igualmente esta conclusión puede no ser aplicable bajo otras condiciones de precios del concentrado y la leche.

6. CONCLUSIONES

- La masa de forraje ofrecido y residual no se afectaron con el nivel de concentrado, pero se modificaron por el tipo de recurso forrajero.
- La composición botánica para avena-ballico anual varió con el momento de muestreo pero no se afectó por el nivel de concentrado.
- La carga animal en avena-ballico anual fue superior a la obtenida en alfalfa-ovillo y se incrementó cuando se suplementó 4 ó 6 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹.
- El consumo de forraje y el tiempo dedicado a pastoreo disminuyeron con la suplementación con concentrado.
- La tasa de sustitución de forraje por concentrado varió dependiendo del método de estimación de consumo de forraje.
- La producción de leche individual y por hectárea se incrementó cuando se suplementó con 4 ó 6 kg de concentrado.
- La mejor respuesta en leche a la suplementación con concentrado se dio en el nivel más bajo de suplementación, pero la mejor respuesta por hectárea se observó en los dos niveles más altos de suplementación.
- El contenido de grasa en leche no se afectó ni aun cuando se suplementó con 6 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹.
- El contenido de nitrógeno ureico en leche (NUL) tendió ($P=0.06$) a disminuir cuando se suplementó de 2 a 6 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹, respecto a vacas que no recibieron concentrado.
- La ganancia de peso se mejoró cuando se suplementó de 2 a 6 kg respecto al tratamiento que no recibió concentrado.

- La tasa de bocados fue más alta en pradera permanente que en cultivo forrajero, pero la tasa de consumo manifestó un efecto contrario.
- El nivel de 4 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹ resultó en el mejor beneficio económico, cuando se analizó producción de leche por hectárea.
- Es importante la inclusión de cultivo anual al sistema de producción de leche, por su mayor tasa de consumo y mayor tasa de acumulación neta en la época de invierno.

7. LITERATURA CITADA

- Améndola M. R. D. y Morales M B. 1997 Competition between oats and annual ryegrass under grazing. Proceedings of the XVIII International Grassland Congress Saskatchewan Canada Sec. 22 p 120.
- Améndola M.R.D, Martínez H.P.A., Mendoza P.J.A., Cortéz A.J., Martínez C.M.A., Román de la C.J.F., Rivera R.J.E., Flores P.M.M., Martínez V.F., González M.S.J.C., Flores B.H., Burgeño F.J.A., Córdoba A.M. 2000. 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". UACH. Chapingo, Méx. P 13-48.
- Améndola M.R.D. y Sánchez R.C. 1999. Suplementación en sistemas intensivos. Memorias del II Seminario Internacional "Estrategias de suplementación de bovinos en pastoreo". P 108-134.
- Améndola M.R.D. 1997. Producción de leche en pastoreo. Memorias del Foro de Producción animal Bajo Pastoreo. Departamento de Zootecnia, UACH. P 15-32.
- Andrade P.D. y Contreras R.M.A. 1997. Determinación de la composición química de alfalfa y maíz ensilado en el Valle de México. Tesis. UACH. Chapingo, México. 77 pp.
- Aniano A.H. y Ayala. E.J.L. 1989. Producción de leche bajo pastoreo en una pradera asociada gramínea (*Dactylis glomerata* var. Potomac)- leguminosa (*Medicago sativa* var. Valenciana). Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 120 pp.
- A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis. Kenneth H (Ed.) Edition 1.
- Avendaño M.J.C. 1978. Determinación de la curva de producción de gramíneas puras. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo Méx. 88 pp.
- Barragán G.H. 2001. Determinación de urea en suero sanguíneo y contenido mineral en suelo forraje y suero sanguíneo en vacas Holstein en pastoreo. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, Méx. 84 pp.
- Benavides N.E. y Camacho G.J.L. 1999. Consumo y comportamiento ingestivo de vacas lecheras en pastoreo suplementadas con ensilado de maíz. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, Méx. 66 pp.
- Butler W.R. 1998. Review: effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. Journal of Dairy Science 81: 2533-2539.
- Castillo A.R., Romero L.A., Quaino O.R., Comeron E.A. y Gaggiotti M.C. 2001. Supplementation of dairy cows under alfalfa grazing conditions with ground corn. Proc XIX Intal. Grassland. Congr. Sao Pablo Brasil. ID#19-01.
- Caton J.S. y Dhuyvetter D.V. 1997. Influence of energy supplementation on grazing ruminants requirements and responses. Journal of Animal Science. 75:533-542.
- Chilibroste P. 1999. Grazing time the missing link: a study of the plant-animal interface by integration of experimental and modelling approaches. Ph D Thesis, Animal Nutrition Group, Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands. 190 p.

- Clements A.J., Huckle C.A. y Wilkins R.J. 1992. The effects of sward height and level of concentrate supplementation on the milk production of spring-calving dairy cows grazing grass clover swards. In: A. Hopkins (Ed.) Grass on the move. British Grassland Society Occasional Symposium No. 26. pp 145-149.
- Combellas J., Baker R.D. y Hodgson J. 1979. Concentrate supplementation and the herbage intake and milk production of heifers grazing *Cenchrus ciliaris*. Grass and Forage Science 34: 303-310
- Cortez A.J. 1998. Pastoreo de la asociación avena-raigras anual para la producción de leche. Tesis de Maestro en Ciencias en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, Méx. 148 pp.
- Delgado E.I. 1983. El Ryegrass Westerwolds y el Ryegrass italiano CRIDA- 03, INIA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. No 9/83 HP. Zaragoza, España. 17 pp.
- Dixon R.M. y Stockdale C.R. 1999. Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilisation. Australian Journal of Agricultural Research. 50:757-773.
- Dorantes J.J. 1997. Evaluación de la inclusión de diferentes leguminosas en la asociación avena-ballico bajo pastoreo en invierno. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo Méx. 73 pp.
- Dougherty C.T., Cornelius P.L., Bradley N.W. y Lauriault L.M. 1989. Ingestive behaviour of Beef Heifers within Grazing Sessions. Applied Animal Behaviour Science, 23:341-351.
- Fisher G.E.J., Dowdeswell A.M. y Perrott G. 1996. The effects of sward characteristics and supplement type on the herbage intake and milk production of summer-calving cows. Grass and Forage Science 51:121-130.
- Flores M.J.A. 1983. Bromatología animal. Tercera edición. Ed. LIMUSA. México. 1096 pp.
- Gabriëls P.C J. y Van der Berg J.V. 1993. Calibration of two techniques for estimating herbage mass. Grass and Forage Science 48:329-335
- Godden S.M., Lissemore K.D., Kelton D.F., Leslie K.E., Walton J.S. y Lumsden J.H. 2001. Factors associated with milk urea concentrations in Ontario dairy cows. Journal of Dairy Science. 84:107-114.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köppen. E. García editor D. F. México 217 pp.
- Grainger C. y Mathews G.L. 1989. Positive relation between substitution rate and pasture allowance for cows receiving concentrates. Australian Journal of Experimental Agriculture. 29:355-360.
- Guillen A.E., Luna R.J. J, Hernández P.E. y Rendón M.J. 1991. Efecto del periodo de descanso sobre el crecimiento y utilización de una pradera asociada de pasto orchard (*Dactylis glomerata*) y alfalfa (*Medicago sativa*) segunda fase. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo Méx. 129 pp.
- Haydock K.P. y Shaw N.H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. Australian J. of Exp. Ag. and Animal Husbandry. 15:663-670.

- Hernández G.A. y Ramírez G.A. 1986. Determinación de la calidad de la materia seca en 27 asociaciones de gramíneas y leguminosas forrajeras de clima templado en su primer año de cultivo. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo Méx. 88 pp.
- Hoden A., Peyraud J.L., Muller A., Delaby L. y Faverdin P. 1991. Simplified rotational grazing management of dairy cows: effects of rates of stocking and concentrate. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 116:417-428.
- Hodgson J. 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*. 34: 11-18.
- Hodgson J. 1990. *Grazing management. Science into practice*. By John Hodgson. Longman Group. U. K. 203 pp.
- Hoffman K., Muller L.D., Fales S.L. y Holden L.A. 1993. Quality evaluation and concentrate supplementation of rotational pasture grazed by lactating cows. *Journal of Dairy Science*. 76:2651-2663.
- Jenning P.G. y Holmes W. 1984. Supplementary feeding of dairy cows on continuously stocked pasture. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 103, 161-170.
- Jiménez M.A. 1983. Curvas de producción de 27 asociaciones de leguminosas forrajeras de clima templado. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo Méx. 100 pp.
- Johnson C.L. 1977. The effect of plane and pattern of concentrate feeding on milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Agricultural Science Cambridge*. 88:79-94
- Jones-Endsley J.M., Cecava M.J. y Jonson T.R. 1997. Effect of dietary supplementation on nutrient digestion and milk yield of intensively grazed lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*. 80: 3283-3292.
- Kempton T.J. 1983. Supplementary feeding of dairy cows to increase milk production. *Rec. Adv. In Anim. Nutr. In Australian*. Pp 46-60.
- Krysl L.J. y Hess B.W. 1993. Influence of supplementation on behaviour of grazing cattle. *J. Anim. Sci*. 71:2546-2555.
- Lantinga E.A., Neuteboom J.H. y Meijs J.A.C. 2000. *Sward Methods Chapter 2*. En: *Herbage Intake Handbook*. Segunda Edición. British Grassland Society. Reading. (en prensa).
- Leaver J.D. 1985. Effects of supplements on herbage intake and performance. En: J. Frame (Ed) *Grazing. Occasional Symposium No 19 B. G. S.* Pp:79-88.
- Leaver J.D. 2000. *Management of Grazing Systems For Dairy Cows*. III Seminario Internacional "Tecnologías para la explotación sustentable del recurso forrajero". UACH. Chapingo Méx. (en separata).
- Leaver J.D., Campling R.C. y Holmes W. 1968. Use of supplementary feeds for grazing dairy cows. *Dairy Sci. Abstr. Review Article*. No 146. 30 (7) 355-361.
- Le Du Y.L.P., Combellas J., Hodgson J. y Baker R.D. 1979. Herbage intake and milk production by grazing dairy cows 2. The effects of level winter feeding and daily herbage allowance. *Grass and Forage Science*. 34:249-261.
- Le Du Y.L.P. y Penning P.D. 1982. Animal based techniques for estimating herbage intake In: *Herbage intake handbook* Leaver J. D. (Ed) 1982. British grassland society. Pp 37-75.

- Malossini F., Bovolenta S., Piasentier E., Piras C. y Martillotti F. 1996. Comparison of n-alkanes and chromium oxide methods for estimation herbage intake by grazing dairy cows. *Animal Feed Science Technology* 61: 155-165.
- Mannetje L.T. 2000. The importance of grazing temperate grasslands In: A. J. Rook and P. D. Penning (Eds.) *Grazing management. The principles and practice of grazing, for profit and environmental gain, within temperate grassland systems.* Occasional symposium No.34 British Grassland Society. British Grassland Society. Devon. UK. P 3-13.
- Martínez C.M.A. 1999. Suplementación con ensilado de maíz a vacas lecheras en pastoreo. Tesis de Maestro en Ciencias. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo Méx. 107 pp.
- McCall D.G. y Clark D.A. 1999. Optimised dairy grazing systems in the Northeast United States and New Zealand. I. System analysis. *Journal of Dairy Science.* 82:1808-1816.
- McCormick M.E., French D.D., Brown T.F., Cuomo G.J., Chapa A.M., Fernandez J.M., Beatty J.F. y Blouin D.C. 1999. Crude protein and rumen undegradable protein effects on reproduction and lactation performance of Holstein cows. *Journal of Dairy Science.* 2697-2708.
- Meijs J.A.C. y Hoekstra J.A. 1984. Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 1. Effect of concentrate intake and herbage allowance on herbage intake. *Grass and Forage Science.* 39, 59-66.
- Melgoza C., Rubio A.O. y Nuñez S.R. 1991. Proporciones de ryegrass-avena para producción de forraje en Ojinaga, Chihuahua. *Memorias de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria.* Tamaulipas, Méx. Pp. 332.
- Mendoza M.G. 1995. Suplementación a bovinos en trópico. En: *Primer seminario para el ganadero.* Villahermosa, Tabasco. Gobierno del estado de Tabasco. p 13-24.
- Minson D.J. 1990. *Forage in ruminant nutrition.* Ed. Academica press inc. USA. 483 pp.
- Moran J.B. y Stockdale C.R..1992. Effect of level of silage feeding, and responses to cottonseed meal while grazing perennial pastures in the spring. *Aust. J. of Exptal Agriculture.* 32: 279-285.
- Moran J.B. 1992. Maize silage for the pasture-fed dairy cows. 3. A comparison with greenchop maize while grazing perennial pastures in late summer. *Aust. J. of Exptal Agriculture.* 32: 293-299.
- Muñoz R.M., Altamirano C.J.R. y Juárez D.M.R. 1997. TLC y lácteos ¿Funciona el experimento?. *Reporte de investigación 34 CIESTAAM.* Chapingo, México. 17 pp.
- Muñoz R.M., Cervantes E.F. y García M.J.G. 2000. El tratado trilateral de libre comercio de América del Norte y Lácteos. *Reporte de investigación 50 CIESTAAM,* Chapingo, México. 50 pp.
- Muñoz R.M. y Odermatt B.P. 1992. La agricultura Mexicana frente al tratado trilateral de libre comercio. UACH, Chapingo, Méx. p189-217.
- Muslera P.E y Ratera G.C. 1991. *Forrajes: producción y su aprovechamiento.* Editorial Mundi Prensa. 702 pp.
- Norton B.W., O' Grandy F.T. y Hales J.W. 1990. Effect of stocking rate on the liveweight gain of sheep and goats grazing an oats-ryegrass pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture.* 30: 777-782.

- NRC. 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. National Research Council. National Academy Press Washington D. C. 6th rev. ed. 157pp.
- Núñez H.G., Santamaría C.J., Contreras R.F., Contreras G.F.E., Castro M.E. y Chew M.Y. 1999. Resultados de investigación en forrajes de alta calidad nutritiva con condiciones limitadas de riego en la región lagunera. 5to ciclo internacional de conferencias sobre manejo y nutrición. Grupo LALA. Gerencia de Asistencia Técnica. Torreón, Coahuila Méx. P 104-117.
- Nuño P.M.I., Antuña M.A.M., de la Roza B.D.M., Martínez F.A. y Argamenteria G.A. 1989. Fertilización nitrogenada de praderas naturales aprovechadas en régimen pastoreo en la zona costera de Asturias. Dosis máximas de nitrógeno para pastoreo. Revista Pastos. 18-19:1-2 p109-135.
- Opatpatanalit Y., Kellaway R.C. y Lean I.J. 1993. Substitution effects of feeding rolled barley grain to grazing dairy cows. Animal feed Science and Technology 42: 25-38.
- Pérez B.J.M. 1999. Respuesta de la asociación avena (*Avena sativa* L)-ballico anual (*Lolium multiflorum* Lam.) a la fertilización nitrogenada. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 41 p.
- Phillips C.J.C. 1988. The use conserved forage as a supplement for grazing dairy cows. Grass and Forage Science. 43: 215-230.
- Phillips C.J.C. y Leaver J.D. 1985. Supplementary feeding of forage to grazing dairy cows. 2. Offering grass silage in early and late season. Grass and Forage Science. 40:193-199.
- Poppi D.P. 1996. Prediction of food intake in ruminants from analyses of food composition. Australian Journal Agriculture Research. 47:489-504.
- Poppi D.P., Hughes T.P. y L'Huillier P.J.L. 1987. Intake of pasture by grazing ruminants. In Feeding livestock on pasture. A. M Nicol (Ed). New Zelaland Society of Animal Production. Occassional Publication No 10. pp.53-63.
- Pulido R. y Leaver J.D. 1997. Effect of milk yield, sward height and concentrate supplementation level on herbage intake and grazing behaviour of set-stocked dairy cattle in spring. Proc XVIII Intl. Grassland. Congr. Winnipeg Manitoba Canada pp 19-20.
- Rearte D.H. y Pieroni G.A. 2001. Supplementation of temperate pastures. Proc XIX Intl. Grassland. Congr. Sao Pablo Brasil. p 679-689.
- Reeves M., Fulkerson W.J. y Kellaway R.C. 1996. Production responses of dairy cows grazing well-managed kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures to energy and protein supplementation. Australian Journal of Experimental Agriculture 36:763-770.
- Reis R.B. y Combs D.K. 2000. Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pastures. Journal of Dairy Science 83:2888-2898.
- Riquelme V.E. 1987. Suplementación energética para bovinos en pastoreo. Memorias del seminario internacional "Suplementación para bovinos en pastoreo". Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. P 15-39.
- Riquelme V.E. 1999. Suplementación energético-proteínica a Bovinos en pastoreo Memorias del II Seminario Internacional "Estrategias de suplementación de bovinos en pastoreo". Pp 90-107.

- Rivera R.J.E., López R.R., Peralta E.J.C. y Alvarado M.P.E. 1992. Efecto del periodo de descanso sobre la estructura y utilización de una pradera asociada gramínea (*Dactylis glomerata* var. Potomac) leguminosa (*Medicago sativa* Var. Valenciana). Quinta fase. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo Méx. P 24-107.
- Rook J.A., Huckle C.A. y Wilkins R.J. 1994. The effects on sward height and concentrate supplementation on the performance of spring calving dairy cows grazing perennial ryegrass-white clover swards. *Anim. Prod.* 58:167-172.
- Ruiz F.C.A., Castro M.M. y Roldan V.R. 1992. Efecto del periodo de descanso sobre la estructura y utilización de una pradera asociada gramínea (*Dactylis glomerata* var. Potomac) leguminosa (*Medicago sativa* Var. Valenciana). Tercera fase. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo Méx. P 38-110.
- Sánchez B.R., Jiménez F.M. y Tenorio D.G. 1996. Parametrización del sistema de producción de leche en pastoreo y su evaluación económica. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, Méx. 151 pp.
- Sayers H.J., Mayne C.S. y Bartram C.G. 2000. The effect of level and type of supplement and changes in the chemical composition of herbage as the season progresses on herbage intake and animal performance of high yielding dairy cows. In: A. J. Rook and P. D. Penning (Eds.) *Grazing management. The principles and practice of grazing, for profit and environmental gain, within temperate grassland systems. Occasional symposium No.34 British Grassland Society. British Grassland Society. Devon. UK.* pp: 85-90.
- Schroeder G.F. y Gagliostro G.A. 2000. Fishmeal supplementation to grazing dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 83:2899-2906.
- Searle S.R., Casella G. y McCulloch C.E. 1992. *Variance components*. Edited by: John Wiley & Sons. N. Y. USA. 501 pp.
- Soca P., Chilibraste P. y Mattiauda & D.A. (1999) Effect of the moment and length of the grazing session on: 2. Grazing time and ingestive behaviour. In: *Proceedings of International Symposium Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. P 295-298.
- Steel R.G.D. y Torrie J.H. 1988. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. Segunda edición. Editorial McGRAW-HILL. 622 pp.
- Stockdale C.R. 1985. Influence of some sward characteristics on the consumption of irrigated pastures grazed by lactating dairy cattle. *Grass and Forage Science* 40:31-39.
- Stockdale C.R. 1995. Maize silage as a supplement for pasture-fed dairy cows in early and late lactation. *Australian journal of Experimental Agriculture*. 35:19-26.
- Stockdale C.R. 1996. Substitution and production responses when lactating dairy cows graze white clover pasture supplemented with maize silage. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 36:771-776.
- Stockdale C.R. 1999. The nutritive characteristics of herbage consumed by grazing dairy cows affect milk yield responses obtained from concentrate supplementation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 39:379-387.
- Stockdale C.R. 2000. Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 40, 913-921.

- Trigg T.E., Stockdale C.R., Callaghan ANN y Currie R. 1983. Concentrate supplements for pasture-fed cows in Northern Victoria. Rec. Adv. In Anim. Nutr. In Australia. Pp 61-68.
- Volosin J. y Labuda J. 1990. Temporary grassland for milk production. *Herbage Abstracts* (1992). 62: 2, 318.
- Wales W.J., Doyle P.T., Stockdale C.R. y Dellow D.W. 1999. Effects of variations in herbage mass, allowance, and level of supplement on nutrient intake and milk production of dairy cows in spring and summer. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 39, 119-130.
- Wales W.J., Dellow D.W., Doyle P.T. y Eagan A.R. 2000. Effects of feeding additional pasture hay on autumn to dairy cows grazing irrigated perennial ryegrass-white clover pasture and supplemented with barley grain. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40:1-9
- Wilkins R.J., Gibb M.J., Huckle C.A. y Clements A.J. 1994. Effect of supplementation on production by spring-calving dairy cows grazing swards of differing clover content. *Grass and Forage Science*. 49, 465-475.
- Williams C.H., David D.J. y Lismaa O. 1962. The determination of chromic oxid in faeces samples by atomic absorptions spectrophotometry. *J. Agric. Sci. Camb.* 59:381.
- Wilman D. y Wright P.T. 1983. Some effects of applied nitrogen on the growth and chemical composition of temperate grasses. *Herbage Abstracts*. 53: 8, 387-391.

8. ANEXOS

Anexo 1. Ecuaciones para el cálculo de algunas de las variables de respuesta calculadas.

FD

Ecuación 1: $TDF = \frac{FD}{(PV \text{ total})(PO)} \times 100$

(PV total)(PO)

donde: TDF= Tasa de Desaparición de Forraje

FD=forraje desaparecido

PO= Periodo de Ocupación

(FD*100)

Ecuación 2: $GD = \frac{FO}{F0 \times \text{Área}}$

F0

donde: GD=Grado de defoliación

FO= forraje ofrecido.

F0*Área

Ecuación 3: $ADF = \frac{PVT}{\text{Donde: ADF=Asignación diaria de forraje}}$

PVT

Donde: ADF=Asignación diaria de forraje

PVT= Peso Vivo Total

Ecuación 4: $CA = DC \times \left(\frac{PO}{PO + PD} \right)$

Donde: CA= Carga Animal.

DC= Densidad de Carga (UA/M).

M= Momento de muestreo

PO= Período de Ocupación (Días).

PD= Período de Descanso (Días).

UA=Unidades Animales

Ecuación 5: $C = \left[(FO - FR) \times S \right] \times PV^{-1} \times T^{-1} \times 100$

Donde: C: consumo [kg MS (100 kg PV)⁻¹ d⁻¹]

FO: masa de forraje ofrecido (kg MS ha⁻¹)

FR: masa de forraje residual (kg MS ha⁻¹)

S: superficie asignada al lote (ha)

PV: peso vivo total del lote de animales

T: días de pastoreo entre la determinación de masa de forraje ofrecido y residual

1000X

Ecuación 6: $PF = \frac{Y}{X}$

Y

Donde: PF=Producción fecal

X=Cr₂O₃ administrado (g d⁻¹)

Y= Cr₂O₃ en heces (mg, g MS⁻¹)

PF

Ecuación 7: $CT = \frac{1 - DMS}{\text{donde: CT=Consumo de MS total}}$

1-DMS (%)

donde: CT=Consumo de MS total

DMS=Digestibilidad de la materia seca

Anexo 2. Altura de corte (cm) de la podadora rotativa en el forraje ofrecido y residual de pradera permanente y cultivo forrajero.

	Forraje ofrecido		Forraje residual	
	Media	Error Estándar	Media	Error Estándar
Cultivo forrajero	7.03	0.15	7.03	0.16
Pradera permanente	6.30	0.13	6.48	0.11

Anexo 3. Contenido de cenizas de muestras de hand plucking y muestras tomadas con la podadora rotativa y corte a nivel del suelo con cutter.

	Altura	Cultivo anual		Pradera permanente	
		Media	Error Estándar	Media	Error Estándar
Forraje ofrecido	Hand-plucking	11.05	0.19	10.44	0.16
	Podadora rotativa	13.65	0.31	14.28	0.86
	Corte a ras de suelo.	16.10	0.38	18.99	0.81
Forraje residual	Podadora rotativa	15.88	0.83	18.63	0.79
	Corte a ras de suelo.	14.26	0.33	13.84	0.44

Anexo 4. Ecuaciones de regresión usadas para la estimación de masa de forraje ofrecido (kg MS ha⁻¹) de pradera permanentes y cultivo forrajero.

	Cultivo anual				Pradera permanente				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
Ciclo	1	2	3	4	1	2	3	4	5
Intercepto	2307	4069	3109	219	6862	1709	-518	515	1115
Visual comparativa	289.8	1060.8	1217.7	1026.8				313.1	819.4
Escala 1 a 10									
Regla de Pradera					-91.64	68.16	84.75		
cm									
Disco Altura		-139.49	-105.99		37.39			55.29	
comprimida cm									
Media	3631	6228	6778	7048	4389	4704	2741	4207	4836
kg MS ha ⁻¹									
R ²	0.53	0.67	0.72	0.72	0.69	0.45	0.87	0.65	0.86
P	0.018	0.021	0.022	0.002	0.017	0.035	0.001	0.025	0.001
DMR	499	527	775	1022	340	401	375	560	684
CV %	13.7	8.5	11.4	14.5	7.8	8.5	13.7	13.3	14.1

DMR=desvio medio de regresión.

Anexo 5. Ecuaciones de regresión provenientes de muestras de calibración para masa de forraje residual (kg MS ha⁻¹)

	Cultivo anual				Pradera permanente				
Ciclo	1	2	3	4	1	2	3	4	5
Intercepto	-1	-1926	-1724	704	718	561	54	497	-332
Visual	359.9	538.1		487.5		240.3	209.4	165.7	447.8
comparativa									
Escala 1 to 10									
Regla de Pradera		110.4	254.9	-31.2					
cm									
Disco Altura					120.2		16.1		
comprimida cm									
Media	1626	3046	2593	2615	1750	1608	1359	1220	1469
kg MS ha ⁻¹									
R ²	0.73	0.78	0.6	0.95	0.48	0.49	0.9	0.63	0.75
P	0.002	0.005	0.025	0.001	0.037	0.025	0.001	0.006	0.003
DMR	359	414	818	198	224	397	164	211	287
CV %	22.1	13.6	31.5	7.6	12.8	24.7	12.1	17.3	19.5

DMR= desvío medio de regresión.