



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

1
20
Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES - CUAUTITLAN

EVALUACION DEL NOPAL COMO SUSTITUTO
PARCIAL DE ALFALFA EN LA ALIMENTACION
DE VACAS LECHERAS EN PRODUCCION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

EN EL AREA DE NUTRICION ANIMAL

P R E S E N T A

Fernando González Castañeda

A S E S O R

DR. GERARDO LLAMAS LAMAS

JULIO DE 1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
COORDINACION GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Coord. General de Estudios de Posgrado
FES-Cuautitlán
P r e s e n t e .

Por medio del presente nos permitimos comunicar a usted que revisamos la tesis titulada "EVALUACION DEL NOPAL COMO SUSTITUTO PARCIAL DE ALFALFA EN LA ALIMENTACION DE VACAS LECHERAS EN PRODUCCION"

que presenta el (la) alumno (a) FERNANDO GONZALEZ CASTAÑEDA.
con Núm. de cuenta 92808410
para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN NUTRICION ANIMAL.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el Examen de Grado correspondiente, otorgamos el voto aprobatorio.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx., a 6 de JULIO de 1994.

NOMBRE DE LOS SINODALES

PRESIDENTE: DR. ARMANDO SHIMADA MIYASAKA
VOCAL: DR. GREGORIO NUÑEZ HERNANDEZ
SECRETARIO: DR. GERARDO LLAMAS LAMAS.
1er. SUPL. DR. CARLOS SOSA FERREYRA
2do. SUPL. DRA. GUADALUPE BERNAL SANTOS.

[Handwritten signatures and stamps of the members of the board]

DEDICATORIA

A mis padres:

Rodrigo y
María del Socorro

Por su ejemplo y apoyo

A mi esposa:

Judith

Por su amor y comprensión

A mis hijos:

Rodrigo Fernando
Luis Felipe y
Judith Alejandra

Por ser un estímulo para seguir adelante

A mis hermanos:

Rodolfo
María del Socorro
Gabriel
María del Consuelo y
Dulce María

Por que siempre permanezcamos unidos

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), por haberme brindado la oportunidad y el apoyo para la realización de mis estudios de maestría.

Al CONACYT por su apoyo económico durante la realización de mis estudios.

Al Patronato para la Protección Pecuaría del Estado de Querétaro, así como al personal del Rancho G.B. en especial a Dn. Luis Negrete, Dn. Gustavo Fernández y al M.V.Z. Juan Manuel Romo por brindarme las facilidades necesarias para la realización del presente trabajo.

Al Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental de la Universidad Autónoma de Querétaro (en especial a la señora María Eugenia Ortega), por su colaboración en los análisis de absorción atómica.

Al Dr. Gerardo Llamas por su amistad y dirección de la presente tesis:

A Jorge Bonilla, Mateo G. García, José Luis Flores, Enrique Castañeda y Jaime Romero por su valioso apoyo durante la conducción del presente estudio en su fase de campo.

A mis compañeros Martha, Sol, Ofelia, Toño, Jorge y Ricardo quienes hicieron menos pesada esta etapa.

A los miembros del jurado: Ph D. Gerardo Llamas L., Ph D. Armando Shimada M., Ph D. Gregorio Núñez H., Ph D. Carlos Sosa F. y Ph D. Guadalupe Bernal S. por sus observaciones y sugerencias en la presente tesis.

CONTENIDO

RESUMEN	i
I.- INTRODUCCION	1
II.- REVISION DE LITERATURA	4
Fisiología y morfología del nopal	4
Distribución y adaptación del nopal	5
Valor forrajero del nopal	7
Composición química del nopal	12
Digestibilidad	18
Consumo	20
Uso de marcadores en estudios de cinética de sólidos y líquidos.....	23
III.- OBJETIVOS	26
IV.- MATERIALES Y METODOS	27
Tratamientos	28
Características de los forrajes y concentrados ...	28
Composición química de los forrajes y concentrados	29
Diseño experimental	34
Animales experimentales	34
Manejo	34
Alimentación	35
Digestibilidad	35
Tasa de paso de sólidos	36
Tasa de paso de líquidos	36
Toma de muestras y colección de datos	37
Análisis estadístico	42
V.- RESULTADOS Y DISCUSION	43
Consumos	43
Producción, cambios de peso y condición corporal..	47
Hábitos de consumo	50
Digestibilidad y cinética ruminal	53
VI.- DISCUSION GENERAL	60
VII.- CONCLUSIONES	63
VIII.- LITERATURA CITADA	65
IX.- APENDICE	75

RELACION DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1 Eficiencia del uso de agua por un clón de nopal en comparación con otras especies vegetales.....	2
2 Composición química con base en el esquema de Weende de varias especies de nopal reportada por diversos autores (% en base seca).....	13
3 Composición química del nopal con base en el sistema detergentes de varias especies de nopal reportada por diversos autores.....	14
4 Composición mineral promedio de plantas de nopal colectadas mensualmente durante invierno y primavera.....	17
5 Composición química (% BS) de los forrajes utilizados en el experimento.....	30
6 Composición química de los concentrados utilizados en el experimento.....	31
7 Composición del concentrado y composición final de las dietas (% BS) utilizados en el experimento....	32
8 Composición química calculada y real de las dietas utilizadas en el experimento.....	33
9 Consumos de alimento, fracciones de fibra y de agua de vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.....	44
10 Producción y composición de leche, cambios de peso y de condición corporal en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.....	48
11 Hábitos de consumo (en minutos) en vacas consumiendo dietas con tres niveles de nopal.....	51
12 Digestibilidad obtenida por medio de fibra amordada con cromo de diversas fracciones del alimento en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.....	53
13 Digestibilidad obtenida por medio de cenizas insolubles en detergente ácido de diversas fracciones del alimento en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.....	54

14	Incrementos en la digestibilidad de las diferentes fracciones del alimento, por unidad porcentual de nopal incluido en la dieta, con respecto al nivel inmediato anterior de nopal en la ración.....	56
15	Tasa de paso, tiempo de recambio, flujo y volumen de sólidos en el retículo rumen en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal	58
16	Tasa de paso y tiempo de recambio de líquidos en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.....	59

RELACION DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Efecto del contenido de nopal en la dieta sobre la producción de leche y el consumo de materia seca..	49

EVALUACION DEL NOPAL COMO SUSTITUTO PARCIAL DE ALFALFA EN
LA ALIMENTACION DE VACAS LECHERAS EN PRODUCCION

por
FERNANDO GONZALEZ CASTAÑEDA
asesor
GERARDO LLAMAS LAMAS

RESUMEN

El objetivo fue determinar el valor nutritivo del nopal como sustituto parcial de alfalfa en dietas para vacas lecheras en producción. El trabajo se realizó en el Rancho "G.B.", del municipio de Villa del Marqués, Qro. Se usaron ocho vacas Holstein de segundo parto con 74 días de lactancia y un peso promedio de 507 kg. asignadas a cuatro tratamientos en un diseño de cuadro latino 4 X 4 repetido. La duración de la prueba fue de 84 días divididos en cuatro periodos de 21 días. Se estudiaron cuatro niveles de nopal: 0, 10, 20 y 30% de la materia seca. El resto de la dieta se compuso de 27% de concentrado a base de sorgo, harinolina y minerales; heno de alfalfa (40, 30, 20 y 10% para las dietas con 0, 10, 20 y 30% de nopal); 25% de heno de avena y 8% de melaza. Las dietas contenían 13.2% de proteína cruda. La información se analizó por análisis de varianza de acuerdo al diseño correspondiente y se estudió la presencia de efectos lineales, cuadráticos o cúbicos mediante contrastes ortogonales. A continuación, entre paréntesis se presentan los resultados, siempre en el orden de 0 a 30% de nopal en la dieta. A medida que se incrementó el nopal disminuyeron en forma lineal ($p < 0.01$) la producción de leche corregida a 3.5% de grasa (24.6; 23.2; 22.7 y 21.4 kg/día), el consumo de materia seca (22.94; 21.57; 19.93 y 18.31 kg/día), consumo de FDN (8.23; 7.57; 6.77 y 6.11 kg/día) y el cambio de peso (457; 521; 253 y 142 g/día); en cambio la producción de leche por kg de materia seca consumida, se incrementó linealmente ($P < 0.01$; 1.05; 1.08; 1.13 y 1.15). Los consumos de alimento en base húmeda (26.01; 40.31; 49.45 y 56.34 kg/día) y el agua en el alimento (3.7; 19.3; 30.5 y 39.3 l/día), aumentaron linealmente ($P < 0.01$); mientras que el consumo de agua de bebida disminuyó en forma lineal ($P < 0.01$; 118.8; 104.7; 86.3 y 70.3 l/día). El tiempo de rumia también se redujo en forma lineal ($P < 0.01$; 380.6; 353.7; 319.4 y 324.4 min/día), pero el tiempo de consumo fue similar, promediando 338 min/día. Asimismo el tiempo utilizado en rumiar cada kilogramo de FDN y cada kilogramo de materia seca fue similar. Sin embargo el tiempo usado en masticar cada kg de FDN se incrementó en forma lineal (91.5; 91.5; 96.4 y 107 min/día) ocurriendo lo mismo en el caso del tiempo usado en masticar cada kg de MS (32.8; 32.1; 32.7 y 35.6 min/día).

Por su parte la digestibilidad calculada por medio de cenizas insolubles en detergente ácido mostró un incremento lineal ($P < 0.01$) para materia seca (63.4; 67.6, 69.8 y 70.4%), materia orgánica (66.0; 70.1; 72.3 y 73.1%), FDN (39.4; 45.9; 49.5 y 50.4%) y hemicelulosa (40.9; 52.8; 59.6 y 57.9%). En cuanto a la cinética de sólidos no se observaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) para tasa de paso, tiempo de recambio, flujo y volumen, los cuales mostraron valores medios de 2.97 %/h, 34.5 h, 0.27 kg/h y 9.07 kg, respectivamente. Por su parte en cinética de líquidos tampoco se obtuvieron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) para tasa de paso y tiempo de recambio y sus valores medios fueron de 9.4 %/h y 11.07 h, respectivamente. Los datos de consumos de alimento, ganancias de peso y la producción de leche por kilogramo de materia seca consumida, indican que el nivel de nopal más adecuado en dietas para vacas con producciones semejantes a las utilizadas en este estudio es del 20% de la dieta.

I INTRODUCCION

Las regiones áridas y semiáridas de México se presentan en más del 60% del territorio nacional, (Bravo, 1978). En estas zonas, las condiciones climáticas y edáficas ocasionan que las producciones de forrajes en temporal sean pobres e irregulares durante el año y también entre años, lo que repercute en una baja producción animal. Por estas razones, en estas zonas la producción agrícola, tanto de cultivos básicos como de forrajes, depende en gran medida del agua de bombeo, lo cual ha ocasionado abatimientos graves en los niveles de agua del subsuelo; siendo estos en algunos casos hasta de 2.5 metros anuales. Este problema es debido a la sobreexplotación del recurso agua, aunado a una la baja recarga de los mantos acuíferos.

En México las principales cuencas lecheras se encuentran localizadas en las zonas áridas y semiáridas como es el caso de La Laguna, Aguascalientes y Querétaro, entre otras. El abatimiento de los mantos freáticos en estas regiones se ha acentuado debido a la gran cantidad de forrajes que son requeridos como la alfalfa, maíz, avena y rye grass. La eficiencia de utilización de agua para la producción de materia seca por algunos de estos cultivos, se puede apreciar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Eficiencia del uso de agua por un clón de nopal en comparación con otras especies vegetales.

ESPECIE	kg de agua necesarios para producir un kg de materia seca
Maguey (<i>Agave americana</i>)	93
Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	267
Maíz (<i>Zea mays</i>)	367
Trigo (<i>Triticum sp.</i>)	507
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	750

Fuente: Brutsch, 1984; (citado por Pimienta, 1988).

Por lo antes expuesto, se considera que es necesario estudiar otras alternativas de forrajes como fuente de alimento para el ganado, con el objeto de desarrollar sistemas de producción más viables para aquellas áreas donde las especies utilizadas tradicionalmente en la alimentación del ganado no prosperan debido a que las condiciones climáticas no son las adecuadas para estos cultivos.

Además, es necesario crear sistemas enfocados a hacer una utilización racional de los recursos nativos ya

utilizados en la alimentación animal en ciertas áreas de las zonas áridas y semiáridas.

Una posible alternativa en estas zonas es el uso del nopal como alimento para el ganado lechero, en vista de que además de ser una especie muy eficiente en la utilización del agua y de tener una elevada producción de materia seca por hectárea, es una planta que es bien aceptada por los rumiantes.

II REVISION DE LITERATURA

Fisiología y Morfología del Nopal

Los primeros productos estables de la fotosíntesis en pastos tropicales son compuestos de cuatro carbonos, mientras que en los de zona templada y leguminosas son de tres carbonos por lo que se les denomina plantas C_4 y C_3 , respectivamente (Van Soest, 1982). Un tercer tipo de fotosíntesis se lleva a cabo en muchas plantas suculentas del desierto. A este tipo de fotosíntesis se ha denominado "metabolismo ácido de las crasuláceas", por lo que estas especies se conocen como plantas "CAM", siendo el nopal (*Opuntia* spp) uno de los ejemplos más típicos de estas plantas. En la fotosíntesis de las plantas CAM, el CO_2 utilizado por las plantas es fijado y convertido en ácido málico durante la noche, el cual es almacenado en las vacuolas de las células de la corteza, para que en el siguiente periodo de luz sea liberado de las vacuolas y descarboxilado en el citoplasma, para posteriormente ser refijado y reducido en los cloroplastos por medio del Ciclo de Kalvin (Pimienta, 1988 y Bidwell 1979).

Este tipo de fotosíntesis se distingue del de la mayoría de las plantas en que los estomas permanecen cerrados durante el día y abiertos por la noche, por lo que presentan tasas de transpiración bajas así como una elevada capacidad de almacenar agua (Moore, 1977). En este tipo de plantas, la

epidermis de los cladodios se encuentra cubierta por una cutícula gruesa que permite disminuir notablemente la evaporación (Conde 1975 citado por Pimienta, 1988).

En la parte inferior de la epidermis, se distingue una capa de células de color verde intenso que se denomina clorénquima y que debe su color a la presencia de cloroplastos. En este tejido es donde se realiza el proceso de la fotosíntesis. En la parte interna de los cladodios se encuentra una gran cantidad de células blancas (parénquima medular) que debe su color a su bajo contenido de cloroplastos y a la presencia de vacuolas grandes, las cuales ocupan el 95% del volumen celular, siendo su principal función el almacenamiento de agua (Gibson y Nobel, 1986). Este tejido le da la característica de succulencia al nopal y mantiene el agua mayoritariamente en forma intracelular.

Distribución y Adaptación del Nopal

La familia de las cactáceas comprende de 100 a 150 géneros y más de 1500 especies. Todas son nativas del continente americano, y se encuentran distribuidas desde Canadá hasta Argentina, principalmente en las regiones tropicales, áridas y semiáridas. Dentro de las cactáceas se encuentra la subfamilia *Opuntieae* a la cual pertenece el género *Opuntia* (Bravo, 1978).

El nopal, se ha extendido a casi todo el planeta con excepción de los polos y algunos desiertos (Borrego y Burgos, 1986). El nopal fue introducido por los colonizadores españoles a Europa y de ahí se ha distribuido a diversas partes del mundo, de tal forma que se le encuentra en forma silvestre o cultivada en España, Portugal, Italia, Argelia, Marruecos, Túnez, Grecia, Israel, Australia y Sudáfrica (Britton y Rose 1963 citados por Pimienta, 1988).

En México, las nopaleras silvestres ocupan cerca de dos millones de hectáreas, encontrándose las más importantes agrupadas en tres grandes zonas del Centro y Noreste del país: a) Nopalera del Noreste de México, que incluye el norte de Tamaulipas, oriente de Nuevo León y parte de Coahuila; b) Zona nopalera Potosino-Zacatecana que incluye Zacatecas, San Luis Potosí y parte de los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Jalisco y Durango; y c) Zona de nopalera difusa en donde la distribución de los nopales se encuentra afectada por factores edáficos que impiden se formen nopaleras densas (Marroquín *et al*, 1964).

El nopal se adapta preferentemente a suelos arenocalcáreos poco profundos y pedregosos; no adaptándose a suelos arcillosos, compactos o húmedos (Borrego y Burgos, 1986). Por su parte el nopal tunero se adapta a suelos con profundidades entre 20 y 40 cm, textura migajón arcilloso y migajón arenoso y con valores de pH entre 5.0 y 7.5. El porcentaje de materia orgánica

del suelo requerido para su desarrollo es bajo (entre 1 y 2%), aunque se ha observado que niveles altos favorecen el desarrollo y productividad (Mondragón y Pimienta, 1987). Con respecto a la altitud, en México la mayoría de las especies se encuentran entre 1600 y 2000 msnm lo que sugiere que ésta es la altitud más adecuada para su producción (Rzedowski, 1971 citado por Borrego y Burgos, 1986).

Valor forrajero del nopal

El nopal es utilizado como forraje en diferentes partes del mundo como en Africa del Sur, Madagascar, Africa del Norte, Argelia, Túnez, España, Italia, India, Argentina, Brasil, Guatemala, Estados Unidos y México (Flores y Aguirre, 1979). En América Latina el nopal es utilizado como forraje en la alimentación de vacas lecheras principalmente en la meseta central de México y en el noreste brasileño, siendo el principal problema en su utilización su elevado contenido de agua (De Alba, 1971).

En México, el nopal es un recurso forrajero importante durante las épocas críticas en regiones con escasa precipitación pluvial, en donde se suministra al ganado previa eliminación de espinas mediante un tratamiento de quemado (Servicios Agrícolas Integrados en el Estado de México, 1981).

El nopal tiene gran importancia socioeconómica, ya que ha representado una fuente de alimento para el ganado durante muchos años y los productores de leche de la región Norte de México acostumbran proporcionar de 30 a 50 kg de nopal por cabeza por día durante el invierno (Tovar, 1991).

En relación a la utilización de nopal silvestre en la alimentación de ganado, Hanselka y Paschal en 1991 concluyen que es una fuente de forraje que reduce los costos de alimentación durante las épocas de sequía e invierno además de disminuir la erosión del suelo. Una desventaja que mencionan es su bajo valor nutritivo debido a su contenido de proteína. Además, el alto contenido de agua se ha considerado una limitante para alimentar vacas estabuladas con este recurso, cuando se tiene que transportar hasta 300 km de distancia como sucede en Monterrey, N.L. (De Alba, 1971).

La explotación de las nopaleras silvestres es mayor en el Norte del país y su utilización se incrementa notablemente en las épocas de sequía e invierno (Marroquín *et al*, 1964). Con respecto a la producción de forraje, datos obtenidos en Nuevo León, utilizando un sistema de corte rotacional, en plantaciones con densidades de 2500 plantas por hectárea, se estiman producciones de 70 ton de forraje verde/ha/año a partir del tercer año (Rojas *et al*, 1966). En el Mediterráneo se han obtenido producciones de 10 a 30 ton de forraje verde/ha/año con precipitaciones de 350 a 450 mm y densidades de 1100 plantas/ha

(Vinold y Saxena, 1976). Por otra parte en el Colegio de Postgraduados de Texcoco, Mex., se evaluaron diferentes niveles de fertilización y la aplicación de riego sobre la producción de forraje verde, encontrando respuesta a la aplicación de estiércol, nitrógeno y fósforo, pero no al riego (10 cm en época de sequía). Las máximas producciones obtenidas fueron de 186 ton/ha/año con 100 ton/ha/año de estiércol y 200 kg/ha/año de nitrógeno sin la aplicación de riego (García, 1973). Contrario a lo anterior, investigaciones realizadas en Sudáfrica, revelaron que con una precipitación media anual de 178 mm y la aplicación de una lámina de 76 mm de agua en primavera, las producciones de materia seca se incrementaron en forma significativa (Brutsch 1984, citado por Pimienta, 1988). La diferencia en los resultados obtenidos en ambos trabajos, con respecto a la utilización de agua de riego, probablemente sean debidos a que en la región donde se localiza el Colegio de Postgraduados la precipitación media anual es mayor a la reportada para Sudáfrica por lo que en esta zona es de esperarse que el nopal presente un estrés mayor por sequía.

Sobre la utilización del nopal como forraje, en un trabajo con bovinos productores de carne con peso promedio de 189 kg, los cuales fueron alimentados con 1.0 y 1.5 kg de concentrado proteico (50% de pasta de algodón y 50% torta de mamona *Melicocca bijuga*), 1 kg de melaza, 40 g de harina de hueso, 40 g de sal más minerales y nopal a libre acceso, los consumos de este último fueron en promedio de 33.2 kg y las

ganancias de peso de 0.629 y 0.688 kg/día cuando se proporcionó 1 y 1.5 kg de concentrado, respectivamente (Viana 1965, citado por Flores y Aguirre, 1979). El mismo autor realizó otro estudio donde utilizó bovinos cruzados de cebú con peso medio de 199 kg; en el cual comparó la utilización de nopal contra el ensilaje de sorgo en tres periodos (1-84 días, 85-126 días y 127-287 días). La alimentación consistió en 1.5 kg de concentrado (50% torta de algodón y 50% torta de mamona), 2.74 kg de raíz de yuca, 40 g de harina de hueso y 40 g de sal más minerales y nopal o ensilaje a libre acceso; los consumos de nopal en base fresca fueron de 29.4; 27.3 y 35.1 kg/día y los de ensilaje de 27.0; 19.0 y 19.0 kg/día para cada periodo, respectivamente. Por su parte las ganancias de peso fueron de 0.809; 0.744 y 0.610 kg/día para la dieta que contenía nopal, y 0.907; 0.855 y 0.783 kg/día para las que contenían ensilaje.

En otro trabajo donde se utilizaron tres dietas compuestas por nopal (15.3; 20.8 y 0.0 kg), rastrojo (3.3; 3.2 y 5.7 kg), sorgo (1.7; 0.0 y 0.0 kg), harinolina (0.0; 0.35 y 0.35 kg), melaza (0.6; 0.6 y 0.6 kg) y minerales, las ganancias de peso fueron de 0.496; 0.541 y 0.300 kg/día para cada dieta, respectivamente y los costos por kilogramo de peso producido fueron 37 y 11% menores en las dietas con 20.8 y 0 kg de nopal en comparación con la dieta con 15.3 kg de nopal (Servicios Agrícolas Integrados en el Estado de México, 1981). Al comparar en bovinos de 249 kg de peso inicial una ración basal compuesta por heno de pasto peletizado (2% del peso vivo), harinolina (0.3

kg/día) y heno de pasto (0.41 kg/día) con la ración anterior más nopal a libre acceso, los consumos de materia seca fueron de 5.69 y 8.39 kg/día y las ganancias de peso de 0.39 y 0.67 kg/día para la dieta basal y la dieta basal más nopal, respectivamente (Shoop et al, 1977). En el estudio anterior, la diferencia en los consumos fue posiblemente debida a que en la dieta sin nopal sólo se proporcionaron 5.69 kg/día de la dieta basal y en la ración con nopal 5.86 kg/día de la misma dieta más nopal a libre acceso. Por su parte las diferencias en ganancia de peso seguramente fueron influenciadas por estas diferencias en el consumo.

En vacas criollas vacías, se evaluaron raciones compuestas por nopal (60%), gallinaza (20%), rastrojo de maíz (15%) y melaza (5%) ensilados y sin ensilar; los consumos de materia seca fueron de 8.0 y 9.3 kg/día y las ganancias de peso de 0.029 y 0.253 kg/día para cada ración, respectivamente (Huitrón y García, 1986). En este estudio las ganancias de peso fueron menores cuando se utilizó la ración ensilada, debido probablemente a un menor consumo ocasionado por la presencia de aminos, amidas, ácidos orgánicos y nitrógeno amoniacal en el ensilaje. Sin embargo estos resultados muestran que es posible utilizar nopal en dietas para vacas vacías o al inicio de la gestación en agostaderos y durante la sequía manteniendo o aumentando la condición corporal.

En bovinos productores de leche se evaluaron tres dietas formadas por alfalfa verde, alfalfa achicalada y nopal,

más concentrado en iguales cantidades; las producciones obtenidas fueron de 9.27; 10.07 y 11.47 kg/día para nopal, alfalfa verde y alfalfa achicalada, respectivamente (Signoret 1964, citado por Flores y Aguirre, 1979). Los mismos autores citan un trabajo realizado por Dávila en 1976, donde reporta producciones de 11.0 y 11.1 litros de leche en vacas alimentadas con concentrado más alfalfa, y concentrado, avena y nopal, respectivamente.

En estos estudios las producciones de leche son bajas debido probablemente a la baja capacidad genética de las vacas o a lo avanzado de la lactancia. Sobre el uso de nopal se observa una reducción en la producción de leche; sin embargo en ambos trabajos se concluye que el costo por litro de leche producido fue menor cuando se utilizó nopal como forraje.

Composición Química del Nopal

Flores y Aguirre, en 1979, citan los resultados obtenidos en análisis de nopal por diversos autores. Un aspecto relevante es que existen variaciones entre especies. Los valores reportados para el contenido de agua fue de 82.3 hasta 95.5% para *Opuntia imbricata* y *O. leucotricha*, respectivamente, para proteína cruda de 8.84% en *O. stenopetala* y 3.54% en *O. chrysacantha*. En cuanto a extracto etéreo las variaciones en diversas especies varían de 0.57 a 2.66%, en fibra cruda de 2.58 a 18.88% y para cenizas de 15.75 a 40.11%.

La composición química de diversas especies de nopal según el esquema Weende se presenta en el Cuadro 2.

CUADRO 2. Composición química con base en el esquema Weende de varias especies de nopal de acuerdo a diversos autores (% en base seca).

Especie	M.S.	Cen.	P.C.	E.E.	F.C.	Fuente*
<i>O. Chrysacantha</i>	---	26.5	3.57	1.10	4.32	1
<i>O. lucens</i>	---	30.4	3.67	0.56	2.62	1
<i>O. tenuispina</i>	---	29.8	4.42	1.09	5.12	1
<i>O. rastrera</i>	---	40.1	2.81	0.79	6.15	1
Diversas	9-12	18.0	4.00	1.80	9.20	2
Var. Santa Rosa	5.3	18.1	12.45	0.94	14.15	3
Var. Sonoma	5.3	23.2	13.58	1.70	11.13	3
Var. Chico	7.3	21.7	7.97	1.92	10.30	3
<i>O. ficus indica</i>	8.0	19.9	4.04	1.43	8.94	4

* 1= Palomo, (1963) citado por Rojas, 1966. 2= Pimienta, 1988. 3= Ramírez (1977) citado por Borrego y Burgos, 1986. 4= Lastra y Pérez (1978) citados por Borrego y Burgos, 1986.

Las variaciones observadas en el contenido de materia seca dependen en gran medida de la especie y época del año; por su parte el contenido de cenizas es alto en todas las especies reportadas lo cual es una desventaja ya que la fracción mineral no aporta energía para el ganado. Con respecto al contenido de

fibra cruda, éste es bajo comparado con forrajes toscos y las variaciones se encuentran ligadas a la especie y parte de la planta. En cuanto a proteína, no obstante existir variedades con un contenido aceptable, la gran mayoría de las especies presentan valores bajos por lo que para llenar las necesidades de este nutrimento es necesario suplementar con otras fuentes con alta concentración de proteína.

El sistema Wendee se desarrolló durante el siglo pasado y es también conocido como análisis químico proximal, el cual consiste en determinar materia seca (M.S.), cenizas, proteína cruda (P.C.), fibra cruda (F.C.) extracto etéreo (E.E.) y por diferencia de estos con 100, el extracto libre de nitrógeno (E.L.N.) (Tejada, 1992). Sin embargo este método presenta una serie de inconvenientes que pueden limitar su uso; entre estos la principal limitante reside en la fracción de fibra cruda y extracto libre de nitrógeno, ya que para la primera se asume que recupera totalmente los carbohidratos estructurales y la segunda estaría constituida exclusivamente por carbohidratos solubles; sin embargo la fibra cruda esta compuesta por celulosa y lignina insolubles, y el extracto libre de nitrógeno contiene, entre otros compuestos, toda la hemicelulosa, además de celulosa y lignina solubles, y no sólo carbohidratos disponibles para el animal (Van Soest, 1967). Debido a las limitaciones del sistema Weende, durante la década de los sesenta Van Soest desarrolló la metodología conocida como "sistema de detergentes"; en el cual mediante el uso de un detergente a pH neutro se disuelve el

contenido celular y las pectinas, dejando como residuo la pared celular, el cual es conocido como fibra detergente neutro (FDN). Esta fracción está compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina, cutina y sílice. Una segunda determinación es conocida como fibra detergente ácido (FDA) en la cual se utiliza un detergente en una solución con pH ácido con el cual se disuelve la hemicelulosa, contenido celular y pectinas, quedando como residuo celulosa, lignina, cutina y sílice (Van Soest y Robertson , 1985).

Trowell en 1978 (citado por Van Soest y Robertson, 1985) clasifica los componentes de los alimentos en: a) sustancias disponibles a enzimas de mamíferos, b) sustancias no disponibles a enzimas de mamíferos pero que son degradadas por enzimas producidas por microorganismos gastrointestinales y c) Sustancias no disponibles a enzimas de mamíferos y disponibles poco o nada para las enzimas producidas por los microorganismos gastrointestinales. Los componentes de la pared celular (hemicelulosa, celulosa, lignina, cutina y sílice) son resistentes a la degradación por enzimas de los mamíferos debido al tipo de unión que presentan; sin embargo pueden ser degradadas por enzimas producidas por microorganismos gastrointestinales. Esta degradación y la disponibilidad para el animal de los productos resultantes dependen del contenido de lignina, el grado de cristalinización de la celulosa, y el contenido de cutina y sílice (Van Soest y Robertson, 1985).

En el Cuadro 3 se presenta la composición química de diversas especies de nopal determinada mediante el sistema de detergentes.

CUADRO 3. Composición química con base en el sistema de detergentes de varias especies de nopal de acuerdo a varios autores (% en base seca).

Especie	M.S ^a	M.O ^b	P.C ^c	FDN ^d	FDA ^e	LAD ^f	CEL ^g	Fuente*
<i>O. policantha</i>	14.6	86.5	5.3	34	23	7.8	2.0	1
<i>O. ficus ind.</i>	6.9	79.6	9.9	33	18	4.3	---	2
<i>O. spp.</i>	21.0	----	3.1	--	21	---	---	3
<i>O. sp.</i>	39.8	89.3	3.0	12	10	2.5	6.6	4

a=Materia seca, b=Materia orgánica, c=Proteína cruda, d=Fibra detergente neutro, e=Fibra detergente ácido, f=Lignina detergente ácido y g=Celulosa.

* 1= Shoop *et al*, 1989. 2= Ramírez, 1992. 3= NRC, 1981. 4= Rodríguez *et al*, 1990.

Las pectinas son disueltas mediante el uso de detergente neutro no obstante ser componentes de la pared celular. Sin embargo éstas presentan una alta disponibilidad nutritiva (Van Soest, 1982). Sobre el contenido de pectinas en el nopal, Villarreal *et al*, en 1963 indican contenidos en base seca que van de 5.06 a 26.6% para ocho especies de nopal.

Sobre los componentes de las cenizas Shoop *et al*, en 1977 reportan variaciones a través del año, cuya composición reportada para invierno y primavera se presenta en el Cuadro 4.

CUADRO 4. Composición mineral promedio de plantas de nopal colectadas mensualmente durante invierno y primavera (Shoop *et al*, 1977).

Mineral	Invierno	Primavera
Nitrógeno (%)	0.74 ± 0.09	0.74 ± 0.09
Potasio (%)	1.88 ± 0.54	1.65 ± 0.11
Magnesio (%)	0.77 ± 0.08	0.85 ± 0.06
Calcio (%)	3.64 ± 1.01	3.38 ± 0.29
Fósforo (%)	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.01
Hierro (%)	0.12 ± 0.01	0.09 ± 0.02
Sodio (%)	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00
Manganeso (ppm)	149 ± 30	266 ± 94
Cobre (ppm)	8.30 ± 3.50	10.90 ± 1.80
Zinc (ppm)	25.80 ± 4.20	30.50 ± 9.20

Hanselka y Paschal, en 1991 mencionan que algunos minerales que contiene el nopal exceden los requerimientos de los animales lo cual puede causar un imbalance de otros. Cuando se alimenta el ganado con raciones que contienen altas proporciones de nopal es necesaria la suplementación con fósforo ya que el

bajo contenido de este elemento y la elevada proporción de calcio arroja una relación Ca:P de hasta 36:1, la cual es muy superior a la reportada como ideal (2:1) y a la de 7:1 que ha sido considerada por el NRC como dentro de los límites satisfactorios. Con respecto al bajo contenido de sodio, éste puede suplirse con la adición de sal, mientras que el resto de los minerales están dentro de los límites que causan deficiencia o toxicidad (Knowlton, 1981 y Shoop et al, 1977).

Digestibilidad

La digestibilidad es una medida de la disponibilidad de nutrimentos de un alimento y se puede definir como la cantidad de nutrimentos de un alimento o dieta que desaparecen durante su paso por el tracto digestivo.

Los forrajes están formados por cinco diferentes tejidos y la resistencia a la digestión se presenta en el orden siguiente: mesófilo y floema menor que epidermis y parénquima, y estos menor que esclerénquima, siendo los más resistentes a la digestión los tejidos vasculares lignificados. La proporción de estos tejidos varía entre especies, partes de la planta, etapa de desarrollo y por factores de manejo; y estas diferencias son la causa de que los forrajes presenten un amplio rango de digestibilidades (Minson, 1990).

Sobre las diferentes fracciones de los forrajes, Van Soest, en 1978, considera con base en coeficientes de correlación que las principales limitantes de la digestibilidad son el contenido de FDA ($r=-0.75$) y lignina ($r=-0.61$). Como ejemplo del efecto de la madurez del forraje, al evaluar en avena el efecto de tres etapas de madurez sobre la composición y digestibilidad del forraje, se encontraron valores de 42.8, 49.7 y 53.6% para FDN; 26.5, 30.6 y 34.2 de FDA y 2.4, 3.9 y 4.4% de lignina; y digestibilidades de la materia seca con becerros de 73.8, 63.0 y 57.9% para las etapas vegetativo, embuche y lechoso-masoso, respectivamente (Núñez y Tovar, 1991). Con respecto a la alfalfa Fannesbeck *et al*, en 1981 reportan contenidos de FDN de 43.6, 40.7 y 45.6%, de FDA 36.9, 35.2 y 35.3% y de lignina de 6.6, 6.4 y 7.0% con digestibilidades de la materia seca en ovinos de 61.9, 63.0 y 60.5% para las etapas de madurez: vegetativo tardío, floración media y floración completa, respectivamente.

En el caso del nopal, las digestibilidades para materia seca, materia orgánica, proteína cruda y energía, obtenidas por medio del método de digestibilidad por diferencia en ovinos, fueron de 60.5, 65.0, 63.0 y 72%, respectivamente (Flores y Aguirre, 1979). Por su parte Shoop en 1977, reporta digestibilidades *in situ* (48 horas de incubación) de la materia seca de 66.4% e *in vitro* (96 horas de incubación) del 64%. En dietas compuestas por: a) rastrojo más harinolina, b) rastrojo más harinolina y sorgo y c) rastrojo más harinolina y nopal, las

digestibilidades de la materia orgánica fueron de 50.6, 56.1 y 58.0% para cada dieta, respectivamente (Ramírez, 1992).

Es posible que mediante un aumento en el contenido de nitrógeno del nopal pueda manipularse la digestibilidad; por ejemplo Belasco *et al*, en 1958, asperjaron sobre los cladodios de nopal una solución que contenía 180 kg de urea/ha, y reportan que siete días después del asperjado no se encontraron residuos de urea y el contenido de nitrógeno amoniacal fue similar al testigo (sin asperjar), por lo que infieren que la urea fue absorbida en su totalidad, asimismo, encontraron que el contenido de nitrógeno en los cladodios se incrementó de 1.14 a 1.73% y la digestibilidad de la celulosa se incrementó 20% en comparación con el nopal sin asperjar. Los valores de digestibilidad del nopal son semejantes a los reportados para alfalfas de buena calidad, y esta disponibilidad se encuentra asociada a su bajo contenido de FDN, FDA y lignina, y al alto contenido de pectinas las cuales no obstante que forman parte de la pared celular son compuestos altamente disponibles para el animal.

Consumo

El consumo de alimento es influenciado por una gran cantidad de factores (Conrad, 1966; NRC, 1987; Forbes, 1986 y Minson, 1990), entre los que se pueden mencionar los del medio ambiente, el estado fisiológico y productivo del animal y el tipo y composición química de la dieta. Sobre estos últimos existe

variación entre especies, partes de la planta y estado de madurez. Además el consumo puede ser afectado por el tipo de proceso que haya sufrido el alimento como puede ser el secado, peletizado, molido o ensilado (Minson, 1990).

Con respecto al contenido de humedad, se ha considerado que el consumo de forrajes frescos se reduce debido a que los animales se llenan de agua y no logran consumir la materia seca necesaria, debido a la distensión ruminal que hace que el animal se sienta satisfecho. Sobre lo anterior Grovum en 1987 menciona que al introducir agua por medio de cánula en globos colocados dentro del rumen, se redujo el consumo en 0.11 gramos por cada mililitro de agua introducido y concluye que no es la distensión en sí lo que reduce el consumo de alimentos, sino la presencia de receptores de estiramiento en el saco dorso-craneal del rumen. Por su parte Davies en 1962, reporta que al introducir agua directamente al rumen, el consumo de alimento no es afectado. Sin embargo en un trabajo donde se asperjó agua sobre el forraje, se encontró una reducción en el consumo causado aparentemente por un tragado más rápido del zacate lo que ocasionó que el tiempo de rumia se incrementara considerablemente (Butris y Phillips, 1987). En lo referente al consumo de nopal por bovinos productores de carne, al proporcionar en forma restringida a becerros de 249 kg de peso vivo promedio una dieta basal (2% del peso vivo de heno peletizado de *Agropyron elongatum* y *Bromus inermis*, 0.3 kg de harinolina y 0.41 kg de heno de *Agropyron desertorum*) el consumo fue de 5.69 kg/cabeza/día y al

suministrar la misma cantidad de la dieta más nopal a libre acceso el consumo fue de 8.39 kg MS/cabeza/día (Shoop et al, 1976). En vacas criollas vacías, se utilizó un ensilaje compuesto por gallinaza (20%), rastrojo de maíz(15%), melaza (5%) y nopal (60%), y los mismos ingredientes y proporciones sin ensilar, los consumos de materia seca fueron de 9.3 y 8.0 kg MS/cabeza/día para las dietas con nopal fresco y ensilado, respectivamente (Huitrón y García, 1986). En ovinos, se evaluó el efecto del contenido de materia seca del nopal sobre el consumo, estos contenidos fueron de 10.2, 27.6 y 87.9% y los consumos de 345.7, 396.1 y 507.1 g/día para nopal fresco, oreado y deshidratado, respectivamente (Terblanche et al 1971, citados por Flores y Aguirre, 1979), lo anterior aparentemente fue debido a que el agua contenida en el nopal provoca un llenado más rápido de la cavidad retículo-ruminal lo cual hace que el animal se sienta satisfecho y deje de comer.

Con respecto al consumo de agua, éste es afectado por numerosos factores como son: especie animal, estado fisiológico, nivel de consumo, forma física de la dieta, temperatura ambiente, y disponibilidad, calidad y temperatura del agua (NRC 1981 y Forbes, 1986). El INRA en 1981, indica que el consumo total de agua varía de 5.5 a 3.5 litros por cada kilogramo de alimento consumido en alimentos secos y forrajes verdes, respectivamente. En ovinos se evaluó, el efecto del porcentaje de humedad del nopal sobre el consumo de agua de bebida encontrando consumos de 27.8, 343.3 y 1677.9 ml de agua cuando se proporcionó el nopal

fresco, oreado y deshidratado con contenidos de materia seca de 10.2, 27.6 y 87.9%, respectivamente (Terblanche *et al* 1971, citados por Flores y Aguirre, 1979); los datos anteriores muestran como el consumo de agua se encuentra influenciado por el consumo de materia seca y el contenido de humedad en la ración.

Uso de marcadores en estudios de cinética de sólidos y líquidos en el tracto gastrointestinal.

En nutrición animal el uso de marcadores para estudiar la cinética de líquidos y sólidos en el tracto gastrointestinal es una práctica ampliamente usada. En rumiantes la tasa de paso por el rumen determina el tiempo de exposición del alimento a los microorganismos ruminales para los procesos de fermentación, síntesis microbiana y absorción (Ferreiro, 1990).

Las características deseables en un marcador han sido mencionadas por diversos autores (Kotb y Lukey, 1972; Udén, 1978 y Owens y Hanson, 1992), encontrándose entre ellas: que no sea absorbido en el tracto gastrointestinal (TGI), no ser degradado o precipitado en el TGI, no ser atrapado por la mucosa u otros contenidos del TGI, que no afecte la motilidad del TGI, que sea fácil de medirse, que tenga la misma solubilidad que el alimento o sustancia en estudio, que no afecte la digestión, que cause sólo pequeños cambios osmóticos, que se mezcle rápidamente y que no tenga efectos sobre la flora intestinal. En general los autores coinciden que ninguno de los marcadores actualmente en

uso, presenta todas las características antes mencionadas; sin embargo seleccionando el marcador apropiado, basado en condiciones experimentales específicas, es posible reducir el grado de error.

Los marcadores han sido clasificados en internos y externos. Los primeros, son aquellas fracciones del alimento que no son sujetos a la digestión, degradación o absorción a través del tracto gastrointestinal (Bernal, 1989); entre estos, los primeros componentes utilizados fueron: sílice, lignina, cromógenos, nitrógeno fecal, fracciones fecales insolubles en ácido y fibra; sin embargo éstos presentan recolección pobre, contaminación y resultados variables (Kotb y Luckey, 1972). Recientemente se han utilizado otros componentes como las cenizas insolubles en ácido y las cenizas insolubles en detergente ácido cuya principal limitante es su baja concentración en algunas dietas lo que ocasiona variación en las determinaciones. Con respecto a los marcadores externos los más utilizados han sido óxidos metálicos, el polietilenglicol, las partículas plásticas y las tierras raras (Owens y Hanson, 1992).

En el estudio de cinética de líquidos, entre los marcadores más usados se encuentran el polietilenglicol, el ácido etilendiamino-tetraácetico de cromo (Cr-EDTA) y el Co-EDTA; las principales limitantes del primero son la tendencia a unirse al material sólido en algunas dietas y que puede precipitarse en dietas que contienen taninos, y del segundo la posible unión a

partículas sólidas o bien que es metabolizado por microorganismos ruminales (Ferreiro, 1990). Recientemente el uso del complejo Co-EDTA se ha incrementado; con este compuesto la recolección obtenida fue del 90% a las 82 horas de su administración y su utilización produce resultados similares a los obtenidos con Cr-EDTA (Udén *et al*, 1980). En un trabajo en que se evaluaron polietilenglicol (PEG), Cr-EDTA, Co-EDTA, Fe-EDTA e Yb-EDTA no se encontraron diferencias en la estimación del volumen del líquido ruminal y la tasa de dilución excepto para PEG en dietas que contenían cascarilla de algodón, debido posiblemente a la presencia de taninos solubles en agua (Teeter y Owens, 1983)

Con respecto a la cinética de sólidos, los marcadores más utilizados han sido alimentos teñidos, partículas de plástico, óxido de cromo, elementos de las tierras raras, fibra amordantada con cromo y material radiactivo, entre otros (Ferreiro, 1990). En el caso de la fibra amordantada con cromo, la recolección en heces encontrada por Udén en 1980 fue del 99.5%. Con respecto al iterbio unido a fibra, al compararlo con el método de colección total, en la determinación de excreción total, no se observaron diferencias (Krysl *et al*, 1985). Por lo anterior estos últimos marcadores se pueden considerar como aceptables en el estudio de cinética de sólidos.

III OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el valor nutritivo del nopal como sustituto parcial de alfalfa, en el comportamiento productivo de vacas lecheras en producción.

Objetivos específicos

a) Evaluar la producción y composición de la leche, así como los cambios de peso y cambios en la condición corporal de vacas en producción consumiendo tres niveles de nopal.

b) Evaluar el consumo y digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y fracciones de fibra, en vacas alimentadas con tres niveles de nopal en la ración.

c) Determinar las tasas de paso de sólidos y líquidos, así como el consumo de agua y los hábitos de consumo (tiempo empleado en comer, rumiar y descansar) en vacas alimentadas con tres niveles de nopal.

IV MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se desarrolló en su fase de campo en el Rancho "G B" perteneciente a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos el cual es administrado por el Comité de Fomento y Protección Pecuaria del estado de Querétaro. Dicho Rancho, se encuentra localizado en el municipio de Villa del Marqués, Qro. entre los 20° 31' de latitud Norte y los 100° 09' de longitud Oeste.

El clima predominante en la zona es del tipo (Bsk) según lo reporta García en 1973a, y corresponde a templado semiseco con precipitación media anual de 547 mm, temperatura media anual de 14.5° C y se encuentra a una altitud de 2300 msnm.

La fase de análisis para la composición química de los alimentos y heces se llevó a cabo en los laboratorios del Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, localizado en Ajuchitlán, Qro. Por su parte la determinación de las concentraciones de cromo, cobalto e iterbio en alimento y heces se realizaron en el Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental de la Universidad Autónoma de Querétaro el cual se encuentra en la ciudad de Querétaro.

Tratamientos

Los tratamientos fueron los siguientes niveles de nopal en la dieta:

- 1) Dieta testigo (sin nopal) 40% de alfalfa en la dieta en base seca (BS)
- 2) 10% de nopal y 30% de alfalfa (BS) en la dieta
- 3) 20% de nopal y 20% de alfalfa (BS) en la dieta
- 4) 30% de nopal y 10% de alfalfa (BS) en la dieta

Características de los forrajes y concentrados.

Nopal. La especie utilizada fue *Opuntia ficus indica* proveniente de una plantación localizada en el municipio de Amealco, Qro. En la alimentación de los animales se utilizaron los cladodios maduros último y penúltimo de las ramificaciones, los cuales fueron picados manualmente con machete en trozos de 5X5 cm aproximadamente, teniendo un espesor de 3 cm. Debido a que se empleó una variedad carente de espinas, no fue necesario "chamuscarlo" antes de proporcionarse a los animales. Esta variedad es explotada comercialmente para la producción de nopalitos tiernos para consumo humano.

Alfalfa. Se empleó la variedad Astro cosechada en el mes de febrero, la cual presentaba un crecimiento vegetativo

tardío (no existida botones florales) según la clasificación presentada por Kalu y Fick en 1983. Antes de ser suministrado a los animales el heno fue molido en un molino de martillos provisto de una criba de 5/8".

Avena. El heno de avena proporcionado al ganado presentaba un estado de madurez avanzado ya que fue cosechado cuando el grano se encontraba en estado masoso. Al igual que la alfalfa también fue molido empleándose una criba de 5/8".

Composición química de los forrajes y concentrados

Para conocer la composición química de los forrajes y concentrados se determinó:

- Materia seca parcial. Esta determinación sólo se hizo en nopal, para lo cual se utilizó una estufa de aire forzado a 55°C por 72 horas.
- Materia seca total. Se empleó una estufa a 105°C por 24 horas.
- Cenizas. Se determinó en una mufla a 550°C por 12 horas.
- Proteína cruda. Se utilizó el método de Kjeldahl.
- Fibra detergente neutro. En el caso del nopal, por la dificultad en el filtrado, se utilizó lana de vidrio (Tejada

1992). Por su parte en los concentrados se empleó la técnica de Urea 8 M como lo indican Van Soest y Robertson en 1985, para alimentos amiláceos.

- Fibra detergente ácido. Se empleó la técnica recomendada por Van Soest y Robertson en 1985.

- Lignina. Para su determinación se utilizó la técnica de lignina detergente ácido propuesta por Van Soest y Robertson en 1985.

En el Cuadro 5 se muestra la composición química de los forrajes utilizados en el experimento.

CUADRO 5. Composición química (%BS) de los forrajes utilizados en el experimento.

	Nopal	Alfalfa	Avena
Materia seca (105 ^o C)	13.4	89.2	90.2
Cenizas	11.5	8.7	8.2
Materia orgánica	88.5	91.3	91.8
Proteína cruda	2.2	20.7	7.3
FDN ¹	24.9	38.4	60.6
FDA ¹	10.7	28.1	39.5
Hemicelulosa	14.2	10.3	21.1

1)FDN= Fibra detergente neutro; FDA= Fibra detergente ácido

La relación forraje:concentrado en todos los tratamientos fue 65:35 y la cantidad de avena fue del 25 % del total de la ración. Debido a que el nopal es una fuente con bajo contenido de proteína, las dietas fueron balanceadas en forma isoprotéica para lo cual se utilizaron diferentes proporciones de harinolina y sorgo en los concentrados, esto con el fin de cubrir los requerimientos marcados por el NRC 1989 para vacas con producciones de 18 kg de leche que era la producción esperada.

De acuerdo con las proporciones de los diferentes ingredientes utilizados en la preparación de los concentrados, la composición química de estos se presenta en el cuadro 6.

CUADRO 6. Composición química de los concentrados utilizados en el experimento (%BS).

	NIVEL DE NOPAL EN LA DIETA			
	0	10	20	30
Materia seca	87.7	88.1	88.9	89.6
Cenizas	4.0	4.8	5.7	6.5
Materia orgánica	96.0	95.2	94.3	93.5
Proteína	9.3	14.3	24.0	30.5
FDN	21.2	22.8	22.3	25.6
FDA	7.5	8.2	9.1	12.5

En el cuadro 7 se presentan las proporciones de los ingredientes utilizados en la preparación de los concentrados, así como las proporciones finales del concentrado y los forrajes utilizados en la alimentación de los animales.

CUADRO 7. Composición del concentrado y composición final de las dietas (%BS) utilizados en el experimento

INGREDIENTE	NIVEL DE NOPAL EN LA DIETA			
	0	10	20	30
Concentrado				
Sorgo(%)	96.30	77.41	58.15	39.26
Harinolina(%)	0.00	18.89	38.15	57.04
Minerales ¹ (%)	1.85	1.85	1.85	1.85
Sal común(%)	1.85	1.85	1.85	1.85
Composición final				
Concentrado(%)	27.0	27.0	27.0	27.0
Melaza(%)	8.0	8.0	8.0	8.0
Avena(%)	25.0	25.0	25.0	25.0
Alfalfa(%)	40.0	30.0	20.0	10.0
Nopal(%)	0.0	10.0	20.0	30.0

1) Contenido: 12% Ca, 17% P, 3.5% Cl, 2.23% Na, 3.4% Mg, 5% S, 0.2% Cu, 0.23% Zn, 0.22% Mn, 0.05% Fe, 0.008% I, 20 ppm Se y 11 ppm Co.

En el caso de la melaza, ésta fue diluida en agua en una proporción de 5:1 (melaza:agua) con el fin de facilitar su manejo.

En la formulación de las dietas se utilizaron valores de tablas, por lo que existieron pequeñas diferencias entre la composición química estimada y real de las raciones. Estas diferencias se muestran en el Cuadro 8.

CUADRO 8. Composición química calculada y real de las dietas utilizadas en el experimento (% base seca).

	NIVEL DE NOPAL EN LA DIETA			
	0	10	20	30
Calculada				
Materia orgánica	91.2	90.8	90.4	90.0
Proteína cruda	13.2	13.2	13.2	13.2
FDN	35.5	33.8	32.1	30.4
FDA	23.2	21.9	20.5	19.1
ENI (Mcal/kg)	1.45	1.41	1.38	1.35
Real				
Materia orgánica	93.3	92.5	92.0	91.4
Proteína cruda	13.3	13.2	13.3	13.0
FDN	35.9	35.1	33.3	32.7
FDA	22.9	21.4	19.0	18.7
Lignina	6.7	6.1	5.5	5.0

Diseño Experimental

Se utilizaron ocho vacas en un diseño de cuadro latino repetido 4*4, con cuatro periodos experimentales de 21 días cada uno. Durante los primeros 14 días de cada periodo los animales fueron adaptados a las dietas experimentales y los últimos siete días fueron para mediciones y colección de muestras.

Animales experimentales

Los animales experimentales fueron de la raza Holstein, de segundo parto, con lactaciones entre 42 y 107 días (con una media de 74.7 y una desviación estandar de ± 23.8 días), peso promedio inicial de 507 ± 41 kg y una condición corporal de 2.37 ± 0.13 de acuerdo al sistema de calificación de Virginia, adaptado por Edmonson et al en 1989, el cual presenta una escala de 1 a 5 en donde 1 = emaciado y 5 = obesa.

Manejo

Los animales fueron alojados en corrales techados, con piso de concreto, cama de paja de trigo para proporcionar mayor confort, bebederos automáticos y comederos individuales con el fin de poder determinar los consumos de agua y alimento en

forma individual. Los animales permanecieron atados día y noche por medio de gamarras y sólo fueron movilizados al final de cada periodo experimental con el fin de pesarlos.

El ordeño se realizó en forma mecánica dos veces al día a las 4:00 y 16:00 horas.

Alimentación

El suministro de forraje y concentrado se hizo en forma de dieta integral en comidas proporcionales cada ocho horas (4:00, 12:00 y 20:00 horas). El criterio para suministrar la cantidad de alimento fue permitir entre 5 y 10% de rechazo del total de alimento ofrecido.

Digestibilidad

Para determinar la digestibilidad aparente de las dietas utilizadas en el experimento se utilizó como marcador externo una mezcla de fibra de alfalfa y avena amordatada con cromo, la cual fue preparada como lo sugieren Udén et al en 1980. La concentración final de cromo en la fibra fue de 6.9% y la cantidad proporcionada a los animales fue de 3 g de fibra/cabeza/día durante los últimos diez días de cada periodo experimental a razón de 1 g por comida. Además, se utilizó como

marcador interno las cenizas insolubles en fibra detergente ácido presente en el alimento.

Tasa de paso de sólidos.

Como marcador de la fase sólida se utilizó iterbio (Yb) unido a FDN de alfalfa, la cual fue preparada como lo indican Udén et al en 1980. La concentración final de Yb en la fibra fue de 7.362%. La cantidad de fibra proporcionada a los animales fue de 30 g, la cual fue suministrada a las 6:00 horas del día 15 de cada periodo experimental. Con el fin de que los animales consumieran el total de los marcadores, antes de que estos fueran suministrados se retiró el alimento presente en los comederos y una vez consumidos los marcadores el alimento fue regresado, lo cual ocurrió en un periodo menor a una hora.

Tasa de paso de líquidos.

Como marcador de la fase líquida se utilizó la sal de sodio de cobalto-EDTA (Co-EDTA) el cual fue preparado como lo indican Udén et al en 1980. El Co-EDTA (307 g.) fue asperjado sobre grano de sorgo molido (2,480 g.) y posteriormente secado a 60°C antes de ser ofrecido a los animales. La concentración final de Co en la mezcla fue de 2.845%. Este marcador fue proporcionado a razón de 85 g de mezcla/animal a las 6:00 horas del día 15 de

cada periodo experimental y se siguió el mismo procedimiento descrito para el suministro del Yb.

Toma de muestras y colección de datos

Durante los 84 días de duración que tuvo el experimento se registró la cantidad de alimento ofrecido así como la del rechazado y por diferencia entre éstos se obtuvo el alimento consumido. Sin embargo para obtener medias y hacer los análisis estadísticos sólo se consideraron los consumos de los días 15 al 21 de cada periodo; es decir cuando los animales ya se habían adaptado a las dietas experimentales.

Con el objeto de calcular los consumos de MS, MO, proteína cruda, FDN y FDA, se tomaron muestras diariamente durante el periodo de toma de datos, de los componentes de la dieta así como el 10% del total rechazado. Las muestras de nopal ofrecido al igual que los rechazos se colocaron diariamente en bolsas de polietileno cerradas herméticamente y éstas fueron puestas en congelación para evitar pérdidas de humedad y su descomposición.

Al final de cada periodo las muestras tomadas durante los siete días fueron mezcladas para el análisis de la muestra compuesta; posteriormente éstas fueron secadas en estufa de aire

forzado a 55° C y luego molidas en un molino Wiley con criba de 2 mm.

Con el propósito de determinar la producción de leche, se realizaron pesadas en los dos ordeños diariamente durante los periodos de recolección de datos. Asimismo, para calcular la producción de leche corregida a 3.5% de grasa se utilizó la fórmula $LCG = (0.4324 * \text{kg de leche}) + (16.218 * \text{kg de grasa})$ propuesta por Bath et al en 1985.

Las determinaciones del contenido de grasa de la leche se hicieron en muestras tomadas en forma proporcional a la producción los días 1, 3, 5 y 7 del periodo de recolección; estas muestras fueron mezcladas diariamente y para cada mezcla se hizo la determinación por el método de Gerber. De igual manera con las muestras obtenidas, se evaluó la densidad por medio de un termolactodensímetro y con los valores obtenidos de grasa, temperatura y densidad se determinaron los valores de sólidos totales por medio de la regla de cálculo de Gerber y por diferencia se obtuvieron los valores de sólidos no grasos.

Para conocer el hábito de consumo de los animales, se determinó el tiempo (en minutos) que emplearon los animales en comer, rumiar y descansar con estas dietas. Durante 24 horas en forma consecutiva se anotó cada cinco minutos si el animal se encontraba rumiando, comiendo o descansando, anotando que esta actividad era mantenida durante los cinco minutos.

Con el propósito de determinar el consumo de agua, se colocaron recipientes y se midió la cantidad de agua proporcionada durante 24 horas el día dos de los periodos de recolección de datos; luego una vez transcurrido este tiempo fueron retirados los recipientes y medido el sobrante, calculándose por diferencia el agua consumida.

El pesaje de los animales se realizó el último día de cada periodo experimental, esto sin previo ayuno como lo sugiere Foley et al, en 1972. Asimismo, este día se evaluó la condición corporal utilizando para esto el sistema de calificación de Virginia.

Para determinar la tasa de paso de sólidos y paso de líquidos se tomaron muestras de heces con guantes de palpación rectal a las 6, 9, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 42, 48, 56, 64, 72, 84, 96, 108, 120 y 144 horas después de haber sido suministrados los marcadores. Para conocer la digestibilidad se tomaron alícuotas de estas muestras las cuales fueron mezcladas y analizadas como una sola.

Para determinar la cantidad de cromo tanto en alimento como en heces, las muestras se prepararon como lo propone Bernal, en 1989. Por su parte la preparación para determinar Co e Yb se hizo como lo sugiere Hart y Polan, en 1984.

Para conocer la concentración se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 2380.

Para el cálculo de los coeficientes de digestibilidad aparente de la materia seca y de los nutrimentos se utilizaron las siguientes fórmulas propuestas por Church, en 1988.

$$CDMS = 100 - \left(100 * \frac{\% \text{ m en A BS}}{\% \text{ m en H BS}} \right)$$

en donde:

CDMS : Coeficiente de digestibilidad de la materia seca

m : Marcador

A : Alimento

H : Heces

BS : Base seca

Para la digestibilidad aparente de una fracción en particular la fórmula utilizada fue:

$$CD(x) = 100 - \left(100 * \frac{\% \text{ m en A BS}}{\% \text{ m en H BS}} * \frac{\% \text{ de nutrimento en H BS}}{\% \text{ de nutrimento en A BS}} \right)$$

en dónde:

CD(x) : Coeficiente de digestibilidad de la fracción.

Los demás términos son igual que en la fórmula anterior.

Para determinar las tasas de paso de sólidos y líquidos se utilizó el modelo propuesto por Grovum y Williams en 1973. En dicho modelo, se gráfica en forma semilogarítmica (logaritmo natural) la concentración de marcador en las heces contra el tiempo y se realiza una regresión lineal con los puntos de la parte descendente de la curva, asumiendo que la pendiente de esta ecuación es la tasa de paso (%/h) por el retículo-rumen (K_1) y el intercepto expresado como antilogaritmo representa la concentración de marcador en el retículo-rumen al tiempo cero. Una segunda regresión lineal es calculada mediante la extrapolación de la regresión anterior en dirección del eje de las ordenadas y los valores obtenidos en esta extrapolación expresados como antilogaritmos son restados a los valores originales de la curva de excreción expresados también como antilogaritmos, y con los valores resultantes se calcula la regresión lineal contra el tiempo; en esta ecuación se asume que la pendiente representa la tasa de paso por el ciego y colon proximal (K_2). En este caso no se determinó K_2 debido a que había pocos puntos para su cálculo.

El tiempo de recambio se calcula obteniendo la reciproca de la tasa de paso por el retículo rumen ($1/K_1$), y el volumen se obtiene al dividir la dosis de marcador entre la concentración del marcador al tiempo cero. Asimismo el flujo

(kg/h) se obtiene dividiendo el volumen entre el tiempo de recambio.

Análisis estadístico

Las variables de respuesta obtenidas, fueron analizadas estadísticamente mediante un análisis de varianza como lo proponen Steel y Torrie en 1985, y en los casos en que se encontró diferencia estadística se procedió a realizar contrastes ortogonales con el fin de determinar si la tendencia era lineal, cuadrática o cúbica, lo anterior con ayuda del paquete estadístico SAS 1985.

El modelo lineal utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + C_i + P_j(i) + A_k(i) + T_l + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variables propuestas analizadas

μ = Media poblacional

C_i = Efecto del cuadro i ($i = 1, 2$)

$P_j(i)$ = Efecto del periodo P anidado en Cuadro ($j = 1, 2, 3$)

$A_k(i)$ = Efecto de animal A anidado en cuadro ($k = 1, 2, 3, 4$)

T_l = Efecto del tratamiento T ($l = 1, 2, 3, 4$)

E_{ijkl} = Efecto del error aleatorio

V RESULTADOS Y DISCUSION

Consumos

Los consumos de alimento, fracciones de fibra y agua se presentan en el Cuadro 9. EL consumo de alimento en base fresca se incrementó en forma lineal ($P < 0.01$) a medida que se aumentó la cantidad de nopal en la dieta, lo cual fue debido al creciente contenido de humedad en las dietas. En contraste los consumos de alimento expresados en base seca (kg/día), ya sea como porcentaje del peso vivo, o como gramos por kilogramo de peso metabólico, disminuyeron en forma lineal ($P < 0.01$) conforme se incrementó la cantidad de nopal en la ración. Lo mismo ocurrió con los consumos de materia orgánica, FDN, FDA y agua de bebida.

En general los consumos de materia seca fueron superiores a los calculados por el NRC en 1989 para vacas con producciones y pesos semejantes a las utilizadas en este estudio, lo cual posiblemente fue debido al pequeño tamaño de partícula de los forrajes empleados en las raciones (alfalfa y avena). Otra posibilidad es que el consumo de M.S. haya sido alto debido a la baja densidad energética de las dietas, ya que el NRC toma como base para vacas de 500 kg dando 25 kg de leche con 3.5% de grasa y ganando 0.5 kg/día un consumo de 3.77% del peso corporal con una concentración de energía de 1.59 Mcal/kg; en este caso la densidad energética de la ración sin nopal fue de 1.45 Mcal/kg por lo que el consumo sería de aproximadamente 4.20% del peso

vivo según el mismo NRC, el cual es un consumo muy cercano al obtenido en este estudio.

CUADRO 9. Consumos de alimento, fracciones de fibra y de agua de vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.

	N I V E L D E N O P A L					
	0	10	20	30	EE ¹	SC ²
C.A.B.H. (kg/día)	26.01	40.31	49.45	56.34	0.92	L ^a
C.M.S. (kg/día)	22.94	21.57	19.93	18.31	0.40	L ^a
% MS en dieta	88.20	53.65	40.41	32.64	0.005	L ^a
C.M.S. % PV	4.37	4.11	3.83	3.53	0.08	L ^a
C.M.S.kg ^{.75} (g)	208.95	196.60	182.74	168.25	3.60	L ^a
C.M.O. (kg/día)	19.64	18.34	16.30	15.48	0.36	L ^a
C. FDN (kg/día)	8.23	7.57	6.77	6.11	0.19	L ^a
C. FDA (kg/día)	5.35	4.68	4.01	3.54	0.11	L ^a
C. Agua B. (l/día)	118.85	104.67	86.35	69.08	4.38	L ^a
C. Agua T. (l/día)	121.92	123.41	115.87	107.10	4.73	L ^b

1=Error estandar. 2=Significancia de contrastes (L=Lineal), (a=P<0.01; b=P<0.05).

C.A.B.H. =Consumo de alimento base húmeda. C.M.S.=Consumo de materia seca. C.M.S. % PV=Consumo de materia seca como por ciento del peso vivo. C.M.S./kg^{.75}=Consumo de materia seca por kilogramo de peso metabólico. C. FDN=Consumo de fibra detergente neutro. C.FDA=Consumo de fibra detergente ácido. C. Agua B.=Consumo de agua de bebida. C. Agua T. Consumo de agua total.

Los bajos consumos de materia seca observados conforme aumentó el nivel de nopal pueden deberse al elevado contenido de agua del nopal, lo cual concuerda con lo reportado por Minson en 1990, quien señala que existen frecuentes reducciones en el consumo de materia seca cuando se proporcionan dietas que contienen forrajes con un alto contenido de agua. Por su parte el NRC en 1989 indica, que en el caso de alimentos fermentados existen reducciones del 0.02% del consumo de materia seca, como porcentaje del peso vivo, por cada unidad porcentual de incremento en la humedad cuando el contenido de ésta en la dieta es superior al 50%.

Esta reducción en el consumo se encuentra posiblemente relacionada con la forma en que se encuentra el agua en el alimento; ya que Davies en 1962, indica que al introducir grandes cantidades de agua a través de una fístula no se presentaron cambios en el consumo de alimento; por su parte Butris y Phillips en 1987 al asperjar agua en un forraje fresco (aumentando el contenido de humedad de 77.9 a 85.4%), observaron reducciones en el consumo de alimento del 22%. En el caso anterior, aparentemente lo que sucede es que debido a lo succulento del forraje, los animales lo tragan demasiado rápido sin masticarlo lo suficiente para reducir el tamaño de partícula, lo cual se reflejó en un 70% más de tiempo de rumia. Sin embargo, en el presente estudio el tiempo de rumia no aumentó, sino que disminuyó linealmente (Cuadro 11), por lo que se considera que el

mecanismo por el cual el consumo disminuye es diferente. Es posible que en este caso el agua presente en el nopal, por encontrarse mayoritariamente en forma intracelular (Gibson y Nobel, 1986), mantenga la estructura física del nopal por lo que sigue ocupando espacio en el rumen, afectando así la capacidad de consumo; o bien posiblemente existe una retención del agua por el efecto de esponja de los componentes estructurales gruesos del nopal como lo menciona Van Soest en 1982, para los forrajes tropicales. Por lo anterior, es necesario realizar un trabajo con vacas fistuladas ruminalmente para discernir claramente estas posibilidades; sin embargo el contenido ruminal de las vacas recibiendo elevadas cantidades de nopal fue aparentemente muy acuoso, ya que en algunos casos se observó que estas vacas al regurgitar su alimento para rumiarlo, se les escapaba del hocico debido al exceso de agua.

Con respecto a la concentración de FDN en los forrajes, Van Soest en 1978 reporta que esta fracción es el principal factor limitante del consumo ya que presenta una correlación negativa con éste ($r=-0.76$). En el presente trabajo los consumos de FDN y materia seca se redujeron en forma lineal ($P<0.01$) al incrementar el nivel de nopal en la dieta, por lo que puede inferirse que en este caso el contenido de FDN no limitó el consumo de MS en las dietas que contenían nopal.

En lo referente al consumo de agua de bebida, ésta disminuyó linealmente ($P<0.01$) al aumentar la cantidad de nopal

en la dieta, debido al elevado contenido de agua en este ingrediente. El consumo total de agua (bebida más la presente en el alimento), también presentó una disminución lineal ($P < 0.05$) al aumentar el nopal en la dieta, esto posiblemente se explique por la relación entre el consumo de agua y el consumo de materia seca, tal como lo reportan Forbes en 1986, e INRA en 1981.

Producción, cambio de peso y condición corporal

La producción de leche, su composición así como los cambios de peso y condición corporal se presentan en el Cuadro 10. En los resultados obtenidos se puede apreciar que a medida que se incrementó el nopal en la dieta existieron disminuciones lineales ($P < 0.01$) en la producción de leche y leche corregida a 3.5% de grasa. Estos resultados probablemente se debieron al menor consumo de materia seca observado conforme se consumió más nopal.

Por otra parte, a medida que se aumentó la cantidad de nopal en la dieta, se observó un incremento lineal ($P < 0.01$) en la producción de leche por kilogramo de materia seca consumida. Al hacer la comparación estadística entre las pendientes en el consumo de MS y en la producción de leche (Figura 1) por cada unidad porcentual de nopal incluido en la ración, se encontró una diferencia significativa ($P < 0.03$); siendo menor la disminución en la producción de leche, lo cual puede deberse a la mayor digestibilidad de la materia orgánica en las dietas con nopal

(Cuadros 12 y 13), con lo que se incrementaría la cantidad de energía metabolizable por kilogramo de alimento consumido.

CUADRO 10. Producción y composición de leche, cambios de peso y de condición corporal en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.

	N I V E L D E N O P A L					SC ²
	0	10	20	30	EE ¹	
Leche (kg/día)	24.1	23.3	22.5	20.9	0.43	La
L.C.G. (kg/día)	24.6	23.2	22.7	21.4	0.44	L ^a
L/kg MS (kg)	1.05	1.08	1.13	1.15	0.02	L ^a
Grasa (%)	3.6	3.5	3.5	3.7	0.05	C ^a
Grasa (kg/día)	0.9	0.8	0.8	0.8	0.02	L ^a
Sol. N.G. (%)	8.2	8.2	8.2	8.2	0.06	NS
S. Totales (%)	11.8	11.7	11.7	11.8	0.09	NS
C. de Peso (g)	497	521	253	142	0.09	L ^a
C. de Cond.	0.16	0.13	0.07	0.05	0.01	L ^a

1=Error estandar. 2=Significancia de contrastes (L=lineal, C=cuadrático, NS=No significativo), (a=P<0.01; b=P<0.05; NS=No significativo).

L.C.G.=Leche corregida a 3.5% de grasa. L/kg MS=Leche por kilogramo de materia seca consumida. Sol. N.G.=Sólidos no grasos. S. totales= Sólidos totales. C. de Peso=Cambios de peso(g/día). C. de Cond= Cambios de condición corporal.

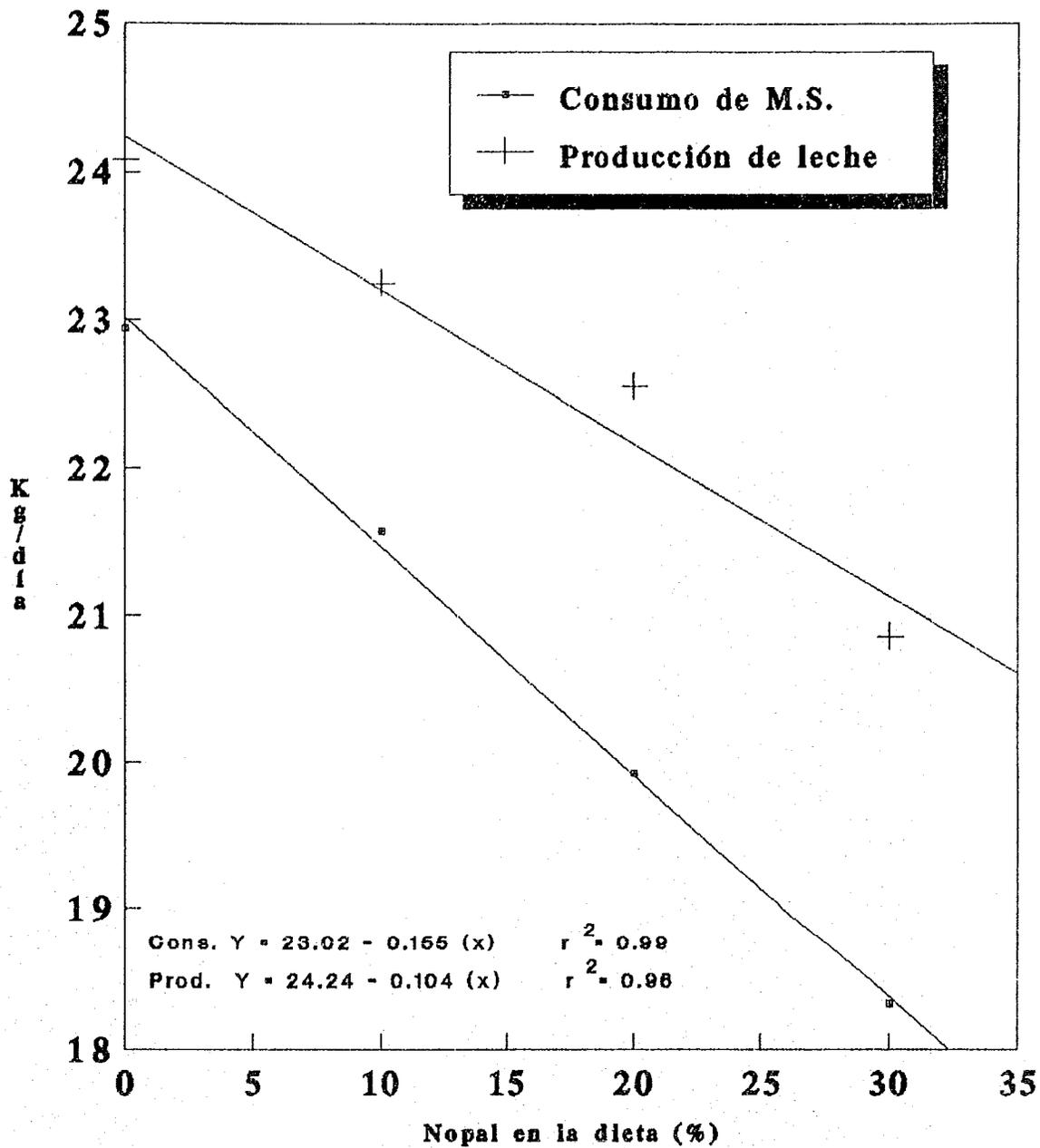


Figura 1. Efecto del contenido de nopal en la dieta sobre la producción de leche y el consumo de materia seca

Con respecto al contenido de grasa en la leche (%), ésta presentó un comportamiento cuadrático ($P < 0.01$) disminuyendo de 3.65 en la dieta sin nopal a 3.47 en la ración con 10% de nopal para luego aumentar a 3.53 y 3.66% con 20 y 30% de nopal; sin embargo las causas que originaron este comportamiento no son claras, ya que se hubiera esperado un contenido igual para todos los tratamientos o bien una tendencia lineal. Por otra parte la producción de grasa (kg/día) disminuyó en forma lineal ($P < 0.01$) al incrementar el nopal en la dieta debido a una menor producción de leche. En relación al contenido de sólidos no grasos y sólidos totales (%) no se observaron diferencias estadísticas ($P > 0.05$), debido a una alta variación entre periodos y animales. Los valores promedio de estas variables fueron de 8.19 y 11.76%, respectivamente.

En adición a los efectos de los tratamientos sobre la producción animal, también se observaron que los cambios de peso y cambios de condición corporal, disminuyeron en forma lineal ($P < 0.01$) conforme se incrementó el nopal en la ración; lo cual posiblemente fue debido al menor consumo de materia seca.

Hábitos de consumo

En el cuadro 11, se presentan los tiempos en minutos que utilizaron los animales en comer, rumiar y descansar con las dietas en estudio. Los tiempos utilizados en rumiar y masticar disminuyeron en forma lineal ($P < 0.01$) conforme se aumentó el

nopal en la dieta. Por su parte los tiempos empleados en descansar, masticar cada kilogramo de FDN y masticar cada kilogramo de materia seca presentaron un incremento lineal conforme se aumentó el nopal en la ración. El tiempo empleado en comer fue estadísticamente similar ($P=0.09$) entre tratamientos y en promedio fue de 337.5 min.

CUADRO 11. Hábitos de consumo (en minutos) en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.

	N I V E L D E N O P A L					
	0	10	20	30	EE ¹	SC ²
Comiendo (C)	360.0	334.4	329.4	326.3	13.4	NS
Rumiando (R)	380.6	353.7	319.4	324.4	14.1	L ^a
Descansando	699.4	751.9	791.2	789.3	17.5	L ^a
Masticando (C+R)	740.0	688.1	648.8	650.7	17.5	L ^a
Rum/kg FDN	47.2	47.1	47.8	53.6	2.5	NS
Mast./kg FDN	91.5	91.5	96.4	107.0	2.5	L ^a
Rum/kg MS	16.9	16.5	16.2	17.8	0.8	NS
Mast./kg MS	32.8	32.1	32.7	35.6	0.8	L ^a

1=Error estandar. 2=Significancia de contrastes (L=lineal, C=cuadrático, NS=No significativo), (a= $P<0.01$; b= $P<0.05$; NS= $P>0.05$).

Rum/kg FDN = Rumiando por kilogramo de fibra detergente neutro.
 Rum/kg MS = Rumiando por kilogramo de materia seca. Mast./kg FDN = Masticando por kilogramo de FDN. Mast./kg MS = Masticando por kilogramo de materia seca.

El tiempo total de rumia disminuyó significativamente ($P < 0.01$) a medida que se incrementó el nivel de nopal en la dieta debido aparentemente a una menor concentración y consumo de FDN. Lo anterior concuerda con lo indicado por Welch y Smith en 1969, quienes encontraron una correlación positiva ($r = 0.96$) entre el contenido de FDN y el tiempo de rumia. Sin embargo cuando el tiempo de rumia fue expresado en minutos por kilogramo de materia seca, no hubo diferencia entre tratamientos ($P > 0.50$). Esta observación difiere con lo citado por Welch y Hopper en 1988, quienes mencionan que aquellos animales que consumen más, emplean menos tiempo comiendo y rumiando cada kilogramo de alimento consumido en comparación con aquellos que comen menos; en consecuencia se hubiera esperado que el consumo de materia seca aumentara al emplear más nopal. Lo anterior apoya la hipótesis de que en este caso no es el contenido de FDN lo que limita el consumo, sino probablemente el agua contenida intracelularmente, o bien el efecto de esponja causado por los componentes estructurales gruesos del nopal.

Con respecto al tiempo utilizado en rumiar cada kilogramo de FDN, éste mostró una tendencia a incrementarse en forma lineal ($P = 0.09$) a medida que se elevaba el contenido de nopal en la dieta; de igual manera el tiempo utilizado en masticar cada kilogramo de materia seca mostró un incremento lineal ($P < 0.01$) al aumentar el nopal en la dieta. Los resultados obtenidos en estas últimas dos observaciones probablemente sean

debidas a las necesidades de reducir el tamaño de partícula, para así facilitar su paso a través del orificio retículo omasal, y de liberar el agua contenida en el nopal.

Digestibilidad y cinética ruminal

Las digestibilidades de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y fracciones de fibra se presentan en los Cuadros 12 y 13. Estos valores fueron obtenidos utilizando un marcador externo (fibra amordada con cromo, Cuadro 12) y un marcador interno (cenizas insolubles en detergente ácido (CIDA) Cuadro 13).

CUADRO 12. Digestibilidad obtenida por medio de fibra amordada con cromo en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal (%).

	N I V E L D E N O P A L				EE ¹	SC ²
	0	10	20	30		
Materia seca	63.0	64.8	66.8	67.4	1.51	L ^b
Materia orgánica	65.6	67.6	69.6	70.4	1.35	L ^b
Proteína cruda	53.2	54.8	59.0	59.3	2.10	L ^b
FDN	38.8	41.3	44.3	44.8	2.78	NS
FDA	37.7	36.9	36.0	39.3	3.04	NS
Hemicelulosa	40.8	48.4	55.6	52.3	2.74	L ^a

1=Error estandar. 2=Significancia de contrastes (L=lineal, NS=No significativo), (a=P<0.01; b=P<0.05; NS=No significativo)

Como se puede observar, con fibra amordatada se presentó diferencia estadística ($P < 0.05$) y una tendencia lineal en las digestibilidades de materia seca, materia orgánica, proteína y hemicelulosa ($P < 0.01$) las cuales se incrementaron conforme se aumentó el nopal en la ración. Por otra parte con la utilización de CIDA se detectó la misma tendencia ($P < 0.01$) para materia seca, materia orgánica, proteína cruda, FDN y hemicelulosa.

CUADRO 13. Digestibilidad obtenida por medio de cenizas insolubles en detergente ácido de diversas fracciones del alimento en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.

	N I V E L D E N O P A L				EE ¹	SC ²
	0	10	20	30		
Materia seca	63.4	67.6	69.8	70.4	1.28	L ^a
Materia orgánica	66.0	70.1	72.3	73.1	1.18	L ^a
Proteína cruda	53.4	58.3	62.8	63.0	1.65	L ^a
FDN	39.4	45.9	49.5	50.4	2.20	L ^a
FDA	38.6	41.6	42.1	45.1	2.47	NS
Hemicelulosa	40.9	52.8	59.6	57.9	2.21	L ^a

1=Error estandar. 2=Significancia de contrastes (L=lineal, NS=No significativo), (a= $P < 0.01$; NS=No significativo)

No obstante que los resultados obtenidos por ambos métodos son similares, con la fibra amordada con cromo se presentó una mayor variación, con diferencia estadística entre periodos, lo cual probablemente fue debida a la baja dosis proporcionada a los animales (3g de fibra/animal/día con una concentración de 6.9%). A diferencia de lo anterior con la utilización de CIDA la variación observada fue menor y la significancia estadística entre tratamientos fue más notable.

Los incrementos en la digestibilidad probablemente fueron debidos a una buena digestibilidad del nopal y a los menores consumos de materia seca en las dietas con mayor contenido de nopal como se puede apreciar en el Cuadro 9. Además con ambos métodos se observó un incremento lineal ($P < 0.001$) en la digestibilidad de la hemicelulosa conforme se incrementó la cantidad de nopal en la dieta, lo que probablemente sea debido a que este componente en el nopal sea de una disponibilidad muy superior al de la alfalfa; además el nopal presenta un alto contenido de pectinas (Villarreal, 1963) las cuales son de una elevada disponibilidad.

Con respecto a la digestibilidad de la FDN también se observó un incremento lineal ($P < 0.01$) cuando se utilizó CIDA como marcador, lo cual probablemente se encuentra asociado a la mayor disponibilidad de la hemicelulosa y al menor contenido de lignina y FDA en las dietas que contenían nopal. Sobre lo anterior Van Soest en 1978 y Mertens en 1977 mencionan que estos componentes

son los principales limitantes en la digestibilidad de los forrajes.

En el Cuadro 14 se puede observar como por cada unidad porcentual de nopal en la ración, los incrementos en la digestibilidad para las diferentes fracciones de la dieta, se fueron reduciendo con respecto a la digestibilidad de la ración que contenía el nivel inmediato inferior de nopal. Así para el caso de la materia seca, y cuando se utilizó 10% de nopal, la digestibilidad en relación a la dieta sin nopal se incrementó 0.41% por cada unidad porcentual de nopal en la ración; por su parte cuando se uso 20% este incremento se redujo a 0.23% con respecto a la ración de 10% de nopal, y cuando se utilizó 30% este incremento sólo fue de 0.06% por cada unidad porcentual de nopal por arriba del 20%.

CUADRO 14. Incrementos en la digestibilidad de las diferentes fracciones del alimento , por cada unidad porcentual de nopal incluido en la dieta, con respecto al nivel inmediato anterior de nopal en la ración.

Nivel de nopal	MS	MO	PC	FDN	FDA	Hemi.
0-10	0.41	0.40	0.49	0.65	0.31	1.19
10-20	0.23	0.23	0.45	0.35	0.04	0.68
20-30	0.06	0.07	0.02	0.09	0.30	-0.17

En general, lo anterior sucedió para todos los componentes del alimento y el incremento tan reducido en la digestibilidad de la dieta con 30% de nopal con respecto a la dieta con 20%, coincide con una disminución más marcada en la producción de leche al incrementarse de 20 a 30% el nopal en la ración.

Con respecto a la cinética de sólidos, en el Cuadro 15 se presentan los resultados obtenidos para tasa de paso, tiempo de recambio, flujo y volumen de sólidos en el retículo-rumen. El análisis estadístico no mostró diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$) para ninguna de estas variables y las medias obtenidas para cada una de las determinaciones anteriores fueron: 2.97 %/h; 34.5 h; 0.26 kg/h y 9.08 kg, respectivamente. Sin embargo, en lo referente al tiempo de recambio, el efecto cuadrático se acercó a la significancia ($p = 0.09$) aumentando de 33 horas en la dieta sin nopal a 36.7 en la dieta con 20% para luego disminuir a 33 horas en la ración con 30%. El menor tiempo de recambio con 30% de nopal pudiera explicar el incremento tan reducido en la digestibilidad de esta dieta con respecto a la que contenía 20%. Sin embargo para esclarecer estos resultados es necesario hacer estudios con vacas fistuladas para determinar si este incremento en el tiempo de recambio es real o repetible, y de ser así determinar las posibles causas de este fenómeno.

CUADRO 15. Tasa de paso, tiempo de recambio, flujo y volumen de sólidos en el retículo-rumen en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.

	N I V E L D E N O P A L				EE ¹	SC ²
	0	10	20	30		
Tasa (%/h)	3.1	3.0	2.7	3.1	0.00	NS
Recambio (h)	33.0	35.3	36.7	33.0	1.68	C ³
Flujo (kg/h)	0.25	0.26	0.26	0.29	0.02	NS
Volumen (kg)	8.16	9.03	9.78	9.34	0.65	NS

1:Error estandar. 2:Significancia de contrastes. (L=lineal, C:Cuadrático, NS:No significativo). 3:P=0.09.

En el Cuadro 16 se presentan los resultados obtenidos para la cinética de líquidos. No se detectaron diferencias estadísticas ($P > 0.10$) para la tasa de paso y tiempo de recambio, y las medias obtenidas para estas variables fueron de 9.39 % y 11.08 horas, respectivamente.

Estos resultados son similares a los encontrados por Bernal en 1989 y Llamas 1988, quienes obtuvieron tasas de dilución de 9.25 y 8.4 %/h utilizando el mismo marcador empleado en este estudio (Co-EDTA).

CUADRO 16. Tasa de paso y tiempo de recambio de líquidos en vacas consumiendo dietas con diferentes niveles de nopal.

	N I V E L D E N O P A L					
	0	10	20	30	EE ¹	SC ²
Tasa (%/h)	8.9	9.1	9.9	9.7	0.01	NS
Recambio (h)	11.6	11.6	10.5	10.6	0.61	NS

1=Error estandar. 2=Significancia de contrastes (L=lineal, NS=No significativo).

VI DISCUSION GENERAL

En el presente estudio fue posible hacer una evaluación del valor nutricional del nopal en la alimentación de vacas lecheras en producción. En lo referente al consumo de materia seca se presentó una disminución lineal de 0.15 kg por cada unidad porcentual de nopal incluido en la ración. Van Soest menciona que el contenido de FDN es el principal componente de la dieta que limita el consumo. Sin embargo en el presente estudio las dietas con un menor contenido de FDN fueron las que presentaron un menor consumo, por lo que es posible que en este caso el agua del nopal, la cual se encuentra contenida mayoritariamente en forma intracelular, se encuentre limitando el consumo; o bien sea la presencia de un efecto de esponja creado por los componentes gruesos de la pared celular del nopal, en cuyo caso el agua ya no se encuentre en forma intracelular pero continúa ayudando a mantener la estructura de la pared celular que sólo se rompería por efecto de la masticación. Sin embargo para discernir lo anterior con mayor claridad es necesario realizar un estudio con vacas fistuladas ruminalmente

Con respecto a la producción de leche, los resultados obtenidos mostraron que es posible obtener producciones de 20.9 kg/día con la utilización de hasta 30 % de nopal en la ración. La reducción en la producción de leche fue de 0.10 kg por cada unidad porcentual de nopal en la ración, la cual es inferior a la reducción encontrada en el consumo; esta disminución menor en la

producción de leche, posiblemente sea debida a una mayor digestibilidad de las raciones que contenían nopal, lo que se reflejó en una mayor producción de leche por kilogramo de materia seca consumida. Sin embargo en la dieta con 30% de nopal, los incrementos en la producción de leche por kilogramo de materia seca consumida fueron muy pequeños con respecto a la dieta con 20%, por lo que aparentemente este último nivel se puede considerar como el adecuado en raciones para vacas lecheras.

Sobre los cambios de peso, la diferencia entre la dieta sin nopal y la que contenía 30% de nopal fue de 355 g/día; sin embargo esta diferencia podría reducirse mediante un incremento en la concentración de energía en las dietas con nopal, mediante el empleo de una mayor concentración de energía en el resto de la dieta.

En relación a los hábitos de consumo no se observó diferencia entre tratamientos en el tiempo de rumia por kilogramo de materia seca consumida, lo cual difiere con lo reportado por Welch y Hopper quienes mencionan un menor tiempo de rumia en aquellos animales que comen más; además el tiempo empleado en masticar cada kilogramo de materia seca se incrementó en forma lineal conforme se aumentó el contenido de nopal en la dieta. Estas observaciones apoyan la hipótesis de que en el presente estudio no fue el contenido de FDN el que limitó el consumo.

En lo relacionado a la digestibilidad, se observaron incrementos en la mayoría de los componentes de la dieta, debido posiblemente a la reducción en el consumo y a una mayor disponibilidad de la materia orgánica en las dietas que contenían nopal, lo cual explica la mayor producción de leche por kilogramo de materia seca consumida. Además se pudo observar que estos incrementos fueron de poca magnitud en la dieta con 30% de nopal en comparación a la de 20%, aunque las causas que ocasionaron este efecto no pudieron ser determinadas con precisión en este estudio, esto pudiera relacionarse a un menor tiempo de recambio con 30% de nopal.

En el presente trabajo no fue posible determinar el contenido de energía neta de lactación (ENL) para el nopal; sin embargo considerando que el nopal sustituyó a la alfalfa y que se tuvo una mayor producción de leche por kilogramo de materia seca consumida y una mayor digestibilidad con el uso del nopal, es posible que su contenido de ENL sea superior al de la alfalfa.

VII CONCLUSIONES

- Es factible la utilización de 30% de nopal en la alimentación de vacas lecheras con producciones de medianas a altas. Sin embargo cuando se utiliza el 20% se obtienen mayores ganancias de peso y producción de leche, además la producción de leche por kilogramo de materia seca consumida prácticamente permanece igual, por lo que este último nivel parece más recomendable.
- El elevado contenido de agua del nopal limita su consumo promoviendo una reducción en la producción de leche; sin embargo esta disminución por unidad porcentual de nopal en la ración es menor que la primera debido a una mejor utilización de la dieta.
- En el presente estudio se observó que con dietas altas en nopal el consumo no fue limitado por el contenido de FDN por lo que se presume que el mecanismo que lo limita es diferente y se encuentra relacionado a la forma en que se encuentra el agua en el nopal.
- El nopal es un forraje con una digestibilidad elevada debido posiblemente a su bajo contenido fracciones fibrosas y lignina, y a la presencia de una gran fracción de hemicelulosa y pectina altamente digestible.

- Es necesario realizar estudios con vacas fistuladas ruminalmente para esclarecer las posibles causas de la reducción observada en el consumo de la materia seca.

VIII LITERATURA CITADA

- 1.- Bath, D.L., Dickinson, F.N., Tucker, H.A. y Apleman, R.D. 1985. Dxairy Cattle: Principles, Practices, Problems, Profits. 3ª ed. Lea & Febiger, Philadelphia, USA. 456 p.
- 2.- Belasco, I.J., Gribbins, M.F. y Kolterman, D.W. 1958. The response of rumen microorganisms to pasture grasses and pricklypear cactus following foliar application of urea. J. Anim. Sci. 17(1):209-217.
- 3.- Bernal, S.M.G. 1989. Dynamics of Rumen Turnover in Cows at Various Stages of Lactation. Ph. D. Thesis, Cornell University. 185 p.
- 4.- Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología Vegetal. A. G. Editor S.A. 784 p.
- 5.- Bravo, H.H. 1978. Las Cactáceas de México. 2ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 735 p.
- 6.- Borrego, E.F. y Burgos, V.N. 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 201 p.

- 7.- Butris, G.V. y Phillips, C.J.C. 1987. Grass Forage Sci. 42:259-264.
- 8.- Church, D.C. 1988. The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition. 2ª ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 564 p.
- 9.- Conrad, H.R. 1966. Symposium of Factors Influencing the Voluntary Intake of Herbage by Ruminants: Physiological and Physical Factor Limiting Feed Intake. J. Anim. Sci. 25:227.
- 10.- Davies, H.L. 1962. Intake studies in sheep involving high fluid intake. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 4:167-171.
- 11.- de Alba, J. 1971. Alimentación del Ganado en América Latina. 2ª ed. La Prensa Médica Mexicana. 475 p.
- 12.- Edmonson, A.J., Lean, I.J., Weaver, L.D. y Webster, G. 1989. A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. J. Dairy Sci. 72:68-78.
- 13.- Ferreiro, G. H.M. 1990. Técnicas Usadas Para Medir la Cinética de Líquidos y Sólidos en el Tubo Gastrointestinal. En: Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. Ed. Sistema de Educación Continua en Producción Animal. p 79-93.

- 14.- Flores, V.C.A. y Aguirre, R.J. 1979. El Nopal como Forraje. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- 15.- Foley, R.C. Bath, D.L. Dickenson, F.N. y Tucker, H.A. 1972. Dairy cattle: Principles practices, problems profits. Ed. Lea and Febiger, Philadelphia, U.S.A.
- 16.- Fonnesbeck, P.V. Christiansen, J.L. y Harris, L.E. 1981. Factors Affecting Digestibility of Nutrients by Sheep. J. Animal Sci. 52:363-376.
- 17.- Forbes, J.M. 1986. The Voluntary Food Intake of Farm Animals. Ed. Butterworths. p. 110-113.
- 18.- Galyan, M. 1984. Techniques and Procedures in Animal Nutrition Research. New Mexico State University. 176 p.
- 19.- García, E. 1973a. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koeppen. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. 207 p.
- 20.- García, V.A. 1973b. Manejo de Nopal Forrajero. Rama de Genética, Colegio de Postgraduados. E.N.A. Chapingo, México.
- 21.- Gibson, C.A. y Nobel, P.S. 1986. The Cactus Primer. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 286 p.

22.- Grovum, W.L. 1987. A New Look at what is Controlling Food Intake. In: F. N. Owens (Ed.). Symposium Proceedings: Feed Intake by Beef Cattle. Oklahoma Agr. Exp. Sta. p. 1-40.

23.- Grovum, W.L. y Williams, V.J. 1973. Rate of Digesta in Sheep. 4. Passage of Marker Through the Alimentary Tract and the Biological Relevance of Rate-Constants derived from Changes in Concentration of Marker in Feces. Br. J. Nutr. 30:313.

24.- Hanselka, C.W. y Paschal, J.C. 1991. Prickly Pear Cactus; An Important Rangeland Resource. Beef Cattle Research in Texas 1990. p. 141-143.

25.- Hart, P.S. y Polan, E.C. 1984. Simultaneous Extraction and Determination of Ytterbium and Cobalt Ethylenediaminetetraacetate Complex in Feces. J. Dairy Sci. 67:888-892.

26.- Huitrón, M.G. y García, H.I. 1986. Nutrición de Ganado Bovino Explotado en Areas Extensivas. Altiplano Central. In:Memorias del Tercer día del Ganadero. Centro de Investigaciones Forestales del Estado de Jalisco, A.C. p. 120-131.

27.- INRA. 1981. Alimentación de los Rumiantes. Ed. Mundi Prensa. p. 218.

- 28.- Kalu, B.A. y Fick, G.W. 1983. Morphological Stage of Development as a Predictor of Alfalfa Herbage Quality. *J. Crop Sci.* 23:1167-1172.
- 29.- Knowlton, L.B. 1981. Anyone for a Side Order of Pryckly Pear?. *International Limousin Journal* 11(6):125-128.
- 30.- Kotb, A.R. y Luckey, T.D. 1972. Markers in Nutrition. *Nutr. Abstr. Rev.* 42:813-845.
- 31.- Krysl, L.J., McCollum, F.T. y Galyan, L.M. 1985. Estimation of Fecal Output and Particulate Passage Rate whit a Pulse Dose of Ytterbium-labeled Forage. *J. Range Man.* 38:180-182.
- 32.- Llamas, L.G. 1988. The Effect of Fiber Quality, Fiber Level and Level of Intake on the Utilization of Forages by Ruminants. Ph.D. Thesis. University of Wisconsin-Madison. 153 p.
- 33.- Marroquín, S.J., Borja, L. Velázquez, C.R. y de la Cruz, A.J. 1964. Estudio Ecológico Dasonómico de las Zonas Aridas del Norte de México. *Publ. Esp. N° 2. INIF.SAG. México.* 166 p.
- 34.- Mertens, D.R. 1977. Dietary fiber components: relationship to rate an extent of ruminal digestion. *Fed. Proc.* 36:187-192.
- 35.- Minson, J.D. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. *Academy Press , Inc. San Diego California, USA.* 484 p.

- 36.- Mondragón, C.J. y Pimienta, B.E. 1987. Fertilización Química y Orgánica del Nopal Tunero bajo Condiciones de Temporal Limitado, II Huertas en Producción. En Memoria de 20º Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Zacatecas, México. p 154.
- 37.- Moore, R.I. 1977. Gas Exchange and Photosynthetic Pathways in Range Plants. In Range Science Serier. Society for Range Management. p 1-45.
- 38.- NRC. 1981. Effect of Environment on Nutrient Requeriments of Domestic Animals. National Academy Press. Washington, D.C. 152 p.
- 39.- NRC. 1989. Nutrient Requeriments of Dairy Cattle. 6ª ed. National Academy Press. Washington, D.C. 157 p.
- 40.- NRC. 1981. Nutrients Requeriments of Goats. National Academy Press. Washington, D.C.
- 41.- NRC. 1987. Predicting Feed Intake of Food Producing Animal. National Academy Press. Washington, D.C. 85 p.
- 42.- Núñez, H.G. y Tovar, G. R. 1991. Digestibilidad de la Fibra y de la Materia Seca de Henos de Avena Consumidos por Borregos y Becerros. IV Congreso Nacional de Producción Ovina. p 54-56.

43.- Owens, N. F. y Hanson, F. C. 1992. External and Internal Markers for Appraising Site and Extent of Digestion in Ruminants. J. Dairy Sci. 75:2605-2617.

44.- Pimienta, B.E. 1988. El Nopal Tunero: Descripción Botánica, Uso e Importancia Económica. Sociedad Mexicana de Fitomejoramiento. Revista Germen No. 7. pp 10-52.

45.- Ramírez, L.J.J. 1992. Evaluación del Nopal como Fuente de Energía en Raciones a Base de Rastrojo de Maíz para la Alimentación de Ovinos en Sistemas Agropecuarios de Temporal. Tesis ITA 20. 44 p.

46.- Rodríguez, R.M.R., Martínez, P.R., Rodríguez, G.F. y Zorrilla, R.J.M. 1990. Bromatología de Forrajes e Ingredientes para la Alimentación Animal. Campo Experimental Clavellinas. INIFAP-SARH. Publicación Especial No. 4. p. 48.

47.- Rojas, M.P., Malo, F.J. y Palomo, D. 1966. El Nopal Forrajero en Nuevo León. ITESM. Agronomía 108. p. 34-39.

48.- Servicios Agrícolas Integrados en el Estado de México. 1981. Perspectivas de Utilización del Nopal y la Tuna. 78 p.

49.- Shoop, M.C., Alford, E.J. y Mayland, H.F. 1976. Plains Pryckipear is a Good Forage for Cattle. J. Range Management 30(1):12-17.

50.- Statistical Analysis System (SAS). 1985. User's Guide: Basics and Statistics. SAS Institute, Cary, N.C.

51.- Steel, G.D.R. y Torrie, H.J. 1985. Bioestadística Principios y Procedimientos. 2ª ed. Mc Graw Hill. 622 p.

52.- Teeter, R.G. y Owens, N.F. 1983. Characteristics of Water Soluble Markers for Measuring Rumen Liquid Volume and Dilution Rate. J. Anim. Sci. 56:717-728 p.

53.- Tejada, I. 1992. Control de Calidad y Análisis de Alimentos para Animales. Sistema de Educación Continua en Producción Animal, A.C. 397 p.

54.- Tejada, I. 1985. Manual de Laboratorio para Análisis de Ingredientes Utilizados en la Alimentación Animal. PAIPEME. 387 p.

55.- Tovar, V.F.J. 1991. Intensidades de Poda en una Plantación de Nopal Rastrero para Producción de Forraje. En III Simposio Nacional Sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las Plantas Útiles del Desierto. Saltillo, Coah. Mex. s/p.

56.- Udén, P.E. 1978. Comparative Studies on Rate of Passage, Particle Size and Rate of Digestion in Ruminants, Equines, Rabbits and Man. Ph. D. thesis, Cornell University. 242 p.

57.- Udén, P.E., Colucci, P.E. y Van Soest, J.P. 1980. Investigation of Chromium, Cerium and Cobalt as Markers in Digesta Rate of Passage studies. J. Sci. Fd. Agric. 31:625.

58.- Van Soest, P.J. 1967. Development of a Comprehensive System of Analysis and its Application to Forage. J. Anim. Sci. 26:119-128.

59.- Van Soest, P.J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminant. Ruminant Metabolism, Nutritional Strategies, the Cellulolytic Fermentation and the Chemistry of Forages and Plant Fibers. O & B Books, Inc. 373 p.

60.- Van Soest 1978. Evaluation of Forages and Feedstuffs in the laboratory. IV International Veterinary Congress. Buenos Aires, Argentina.

61.- Van Soest, P.J. y Robertson, J.B. 1985. Analisis of Forages and Fibrous Foods. Cornell University.

62.- Villarreal, F., Rojas Mendoza, P. Arellano, V. y Moreno, J. 1963. Estudio Químico sobre Seis Especies de Nopales (*Opuntia* Spp). Revista Ciencia 22(3):59-65.

63.- Vinold, S. y Saxena, S.K. 1976. Spineless Cactus as Fodder Reserve. Indian Farming 26(1):23-24.

64.- Welch, J.G. y Smith, A.M. 1979. Influence of Forage quality on rumination time in sheep. J. Anim. Sci. 28:813-818.

65.- Welch, J.G. y Hopper, A.P. 1988. Ingestion of Feed and Water. In The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition. Editor D.C. Church. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey. pp. 108-116.

IX APENDICE

CUADRO 1. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el consumo de alimento en base húmeda, consumo de materia seca y consumo de materia seca como porcentaje del peso vivo.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad			F
		CABH ^a	CMS ^b	CMS%PV ^c	CABH	CMS	CMS%PV	
Tratamientos	3	1374.37	32.17	1.048	0.0001	0.0001	0.0001	
Lineal	1	4010.01	96.36	3.139	0.0001	0.0001	0.0001	
Cuadrático	1	109.74	0.12	0.004	0.0017	0.7698	0.7358	
Cúbico	1	3.36	0.03	0.000	0.5133	0.8754	0.9913	
Error	15	7.50	1.31	0.046				

a= Consumo de alimento en base húmeda (kg/día).

b= Consumo de materia seca (kg/día).

c= consumo de materia seca como porcentaje del peso vivo (%).

CUADRO 2. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el consumo materia seca por kilogramo de peso metabólico, consumo de materia orgánica y consumo de fibra detergente neutro.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad			F
		MS/KGPM ^a	C.MO ^b	C.FDN ^c	MS/KGPM	C.MO	C.FDN	
Tratamientos	3	2468.05	28.74	6.87	0.0001	0.0001	0.0001	
Lineal	1	7394.73	84.22	20.58	0.0001	0.0001	0.0001	
Cuadrático	1	9.11	0.46	0.00	0.7711	0.5527	1.0000	
Cúbico	1	0.31	1.53	0.03	0.9575	0.2861	0.7314	
Error	15	103.76	1.25	0.28				

a= Consumo de materia seca por kilogramo de peso metabólico (g/kg^{0.75}).

b= Consumo de materia orgánica (kg/día).

c= consumo de fibra detergente neutro (kg/día).

CUADRO 3. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el consumo de fibra detergente ácido, consumo de agua de bebida y consumo total de agua.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad		F
		C.FDA ^a	C.AB ^b	C.TA ^c	C.FDA	C.AB	C.TA
Tratamiento	3	4.969	3756.8	438.7	0.0001	0.0001	0.1038
Lineal	1	14.817	11240.4	1081.1	0.0001	0.0001	0.0267
Cuadrático	1	0.077	19.2	210.6	0.389	0.7287	0.2954
Cúbico	1	0.014	10.8	24.4	0.7156	0.7944	0.7174
Error	15	0.098	153.8	179.1			

a= Consumo de fibra detergente ácido (kg/día).

b= Consumo de agua de bebida (litros/día).

c= consumo total de agua (de bebida más la contenida en el alimento) (litros/día).

CUADRO 4. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el contenido de materia seca de las dietas y consumo total de agua por kilogramo de materia seca consumido.

	GL	Cuadrado medio		Probabilidad		F
		% MS D. ^a	A/kgMS ^b	% MS D.	A/kgMS	
Tratamientos	3	0.4828	0.5425	0.0001		0.1237
Lineal	1	1.2949	1.2618	0.0001		0.0380
Cuadrático	1	0.1434	0.3166	0.0001		0.2722
Cúbico	1	0.0100	0.0491	0.0001		0.6599
Error	15	0.0002	0.2437			

a= Contenido de materia seca en las dietas (%).

b= Consumo de agua por kilogramo de materia seca consumida (litros/kg).

CUADRO 5. Análisis de varianza y significancia de contrastes para la producción de leche, leche corregida a 3.5% de grasa y leche por kilogramo de materia seca consumida.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad			F
		Leche ^a	LCG ^b	L/kgMS ^c	Leche	LCG	L/kgMS	
Tratamientos	3	14.963	14.33	0.015	0.0001	0.0001	0.0390	
Lineal	1	42.870	41.89	0.043	0.0001	0.0001	0.0057	
Cuadrático	1	1.496	0.03	0.000	0.3303	0.8846	0.7587	
Cúbico	1	0.522	1.07	0.001	0.5612	0.4146	0.5840	
Error	15	1.478	1.52	0.004				

a= Producción de leche diaria (kg/día).

b= Producción de leche corregida a 3.5% de grasa (kg/día).

c= Leche producida por kilogramo de materia seca consumida (kg/kg).

CUADRO 6. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el contenido de grasa en leche, producción de grasa por día y contenido de sólidos no grasos en leche.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad			F
		Grasa ^a	G/día ^b	SNG ^c	Grasa	G/día	SNG	
Tratamientos	3	0.065	0.018	0.003	0.0405	0.0024	0.9652	
Lineal	1	0.002	0.050	0.000	0.7394	0.0003	0.9245	
Cuadrático	1	0.183	0.002	0.008	0.0065	0.3766	0.6223	
Cúbico	1	0.010	0.002	0.000	0.4800	0.3757	0.9532	
Error	15	0.018	0.002	0.030				

a= Contenido de grasa en leche (%).

b= Producción de grasa en leche diaria (kg/día).

c= Contenido de sólidos no grasos en leche (%).

CUADRO 7. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el contenido de sólidos totales en leche, cambios de peso y cambios en la condición corporal.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad			F
		S T. ^a	CdeP ^b	CCC ^c	S T.	CdeP	CCC	
Tratamientos	3	0.044	0.276	0.021	0.5622	0.0160	0.0439	
Lineal	1	0.004	0.713	0.061	0.8056	0.0032	0.0067	
Cuadrático	1	0.116	0.036	0.000	0.1914	0.4435	0.8002	
Cúbico	1	0.012	0.080	0.003	0.6702	0.2590	0.5342	
Error	15	0.062	0.058	0.006				

a= Contenido de sólidos totales en leche (%).

b= Cambios de peso (kg/día).

c= Cambios en condición corporal.

CUADRO 8. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el tiempo utilizado en comer, rumiar y descansar.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad			F
		Comer ^a	Rum ^b	Desc ^c	Comer	Rum	Desc	
Tratamientos	3	1889.6	6471	14838	0.3064	0.0268	0.0065	
Lineal	1	4515.6	16503	38285	0.0966	0.0057	0.0013	
Cuadrático	1	1012.5	2032	5913	0.4144	0.2766	0.1412	
Cúbico	1	140.6	878	316	0.7587	0.4692	0.7244	
Error	15	1437.1	1594	2451				

a= Tiempo empleado en comer (min/día).

b= Tiempo empleado en rumiar (min/día).

c= Tiempo empleado en descansar (min/día).

CUADRO 9. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el tiempo empleado en masticar, tiempo empleado en rumiar cada kilogramo de materia seca consumido y el tiempo empleado en rumiar cada kilogramo FDN consumido.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad F		
		Mast ^a	R.MS ^b	R.FDN ^c	Mast	R.MS	R.FDN
Tratamientos	3	14838	4.15	79.93	0.0065	0.5105	0.2342
Lineal	1	38285	2.36	160.28	0.0013	0.5090	0.0947
Cuadrático	1	5913	8.59	71.70	0.1412	0.2161	0.2514
Cúbico	1	316	1.49	7.82	0.7244	0.5986	0.6991
Error	15	2451	5.15	50.38			

a= Contenido de sólidos totales en leche (%).

b= Cambios de peso (kg/día).

c= Cambios en condición corporal.

CUADRO 10. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el tiempo utilizado en masticar cada kilogramo de materia seca consumido y cada kilogramo de FDN consumido.

	GL	Cuadrado medio		Probabilidad F	
		Mast MS ^a	Mast FDN ^b	Mast MS	Mast FDN
Tratamientos	3	20.076	425.45	0.1104	0.0116
Lineal	1	33.585	1048.64	0.0645	0.0027
Cuadrático	1	26.254	227.43	0.0980	0.1162
Cúbico	1	0.392	0.27	0.8323	0.9551
Error	15	8.433	81.80		

a= Tiempo empleado en masticar cada kilogramo de materia seca consumido (min/kg).

b= Tiempo empleado masticar cada kilogramo de FDN consumido (min/kg).

CUADRO 11. Análisis de varianza y significancia de contrastes para las digestibilidades de materia seca, materia orgánica y proteína cruda determinadas con el uso de fibra amordatada con cromo.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad F		
		D. MS ^a	D.MO ^b	D.PC ^c	D. MS	D.MO	D.PC
Tratamientos	3	32.74	33.33	74.85	0.1906	0.0950	0.1392
Lineal	1	93.90	108.15	204.12	0.0383	0.0159	0.0292
Cuadrático	1	3.35	3.14	3.30	0.6741	0.6500	0.7635
Cúbico	1	0.97	0.70	17.13	0.8202	0.8299	0.4958
Error	15	18.20	14.66	35.14			

a= Digestibilidad de la materia seca (%).

b= Digestibilidad de la materia orgánica (%).

c= Digestibilidad de la proteína cruda (%).

CUADRO 12. Análisis de varianza y significancia de contrastes para las digestibilidades de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y hemicelulosa determinadas con el uso de fibra amordatada con cromo.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad F		
		D.FDN ^a	D.FDA ^b	D.H ^c	D.FDN	D.FDA	D.H
Tratamientos	3	63.88	15.25	325.0	0.4062	0.8906	0.0099
Lineal	1	179.52	5.61	700.7	0.1091	0.7869	0.0038
Cuadrático	1	8.34	32.23	234.8	0.7186	0.5193	0.0663
Cúbico	1	3.79	7.91	39.4	0.8077	0.7482	0.4302
Error	15	61.85	74.01	59.9			

a= Digestibilidad de la fibra detergente neutro (%).

b= Digestibilidad de la fibra detergente ácido (%).

c= Digestibilidad de la hemicelulosa (%).

CUADRO 13. Análisis de varianza y significancia de contrastes para las digestibilidades de materia seca, materia orgánica y proteína cruda determinadas con el uso de cenizas insolubles en detergente ácido.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad			F
		D. MS ^a	D.MO ^b	D.PC ^c	D. MS	D.MO	D.PC	
Tratamientos	3	80.55	80.33	164.8	0.0062	0.0031	0.0027	
Lineal	1	216.71	219.54	443.9	0.0010	0.0005	0.0004	
Cuadrático	1	24.94	21.43	44.4	0.1879	0.1849	0.1751	
Cúbico	1	0.01	0.01	6.2	0.9787	0.9791	0.6015	
Error	15	13.11	11.09	21.9				

a= Digestibilidad de la materia seca (%).

b= Digestibilidad de la materia orgánica (%).

c= Digestibilidad de la proteína cruda (%).

CUADRO 14. Análisis de varianza y significancia de contrastes para las digestibilidades de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y hemicelulosa determinadas con el uso de cenizas insolubles en detergente ácido.

	GL	Cuadrado medio			Probabilidad			F
		D.FDN ^a	D.FDA ^b	D.H ^c	D.FDN	D.FDA	D.H	
Tratamientos	3	200.10	56.22	571.8	0.0119	0.3592	0.0001	
Lineal	1	337.61	157.38	1341.2	0.0020	0.0922	0.0001	
Cuadrático	1	62.63	0.02	369.9	0.2229	0.9847	0.0077	
Cúbico	1	0.07	11.26	4.1	0.9676	0.6374	0.7506	
Error	15	38.73	48.65	39.2				

a= Digestibilidad de la fibra detergente neutro (%).

b= Digestibilidad de la fibra detergente ácido (%).

c= Digestibilidad de la hemicelulosa (%).

CUADRO 15. Análisis de varianza y significancia de contrastes para la tasa de paso (%/h) y tiempo de recambio (h) de sólidos.

	GL	Cuadrado medio		Probabilidad F	
		T.de Paso ^a	T.Recamb. ^b	T.de Paso	T.Recamb.
Tratamientos	3	0.000024	26.52	0.284	0.351
Lineal	1	0.000000	0.88	0.850	0.846
Cuadrático	1	0.000047	71.75	0.118	0.094
Cúbico	1	0.000023	6.92	0.258	0.587
Error	15	0.000017	22.49		

a= Tasa de paso (%/h).

b= Tiempo de recambio (h).

CUADRO 16. Análisis de varianza y significancia de contrastes para el flujo (kg/h) y volumen de sólidos.

	GL	Cuadrado medio		Probabilidad F	
		Flujo ^a	Volumen ^b	Flujo	Volumen
Tratamientos	3	0.0022	3.763	0.582	0.375
Lineal	1	0.0061	7.410	0.191	0.159
Cuadrático	1	0.0001	3.434	0.877	0.329
Cúbico	1	0.0004	0.446	0.732	0.721
Error	15	0.0032	3.379		

a= Flujo (kg/h).

b= Volumen (kg).

CUADRO 17. Análisis de varianza y significancia de contrastes para la tasa de dilución (%/h) y el tiempo de recambio (h).

	GL	Cuadrado medio		Probabilidad F	
		T. de D. ^a	T.Recambio ^b	T. de D.	T.Recambio
Tratamientos	3	0.00019	3.2506	0.461	0.390
Lineal	1	0.00040	7.0864	0.180	0.147
Cuadrático	1	0.00003	0.0377	0.691	0.912
Cúbico	1	0.00012	2.6276	0.459	0.366
Error	15	0.00021	3.0242		

a= Tasa de dilución (%/h).

b= Tiempo de recambio (h).