



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD
ANIMAL**

**CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS Y DE LA CANAL EN GANADO DE
CARNE ESTABULADO CON LA UTILIZACIÓN DE ENZIMAS FIBROLÍTICAS**

**TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA
M.V.Z. JUAN MANUEL VARGAS ROMERO**

**TUTOR:
Dr. GERMAN MENDOZA MARTINEZ**

**COMITÉ TUTORAL:
Dra. Ma. DE LA SALUD RUBIO LOZANO
Dr. FRANCISCO CASTREJON PINEDA**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT,

Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.,

Departamento de Ensayos Metabólicos; UAM-Xochimilco.,

Q. Lorena Cassis; Universidad La Salle.,

tutores Dr. Germán Mendoza, Dra. María de la Salud y Dr. Francisco Castrejón.

sinodales Dr. Sergio González y Dr. Humberto Troncoso

DEDICATORIA

A todos los que estuvieron, están y estarán.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
LISTA DE CUADROS	III
LISTA DE FIGURAS	III
REVISIÓN DE LITERATURA	
<u>La ganadería internacional</u>	5
Situación actual.....	5
<u>La ganadería nacional</u>	6
Situación actual.....	6
Zonas de producción ganadera.....	7
Sistemas de producción nacional.....	8
<u>Nutrición de los rumiantes</u>	9
Composición de la fibra.....	9
Degradación ruminal de la fibra.....	11
Implicaciones de las fracciones de la fibra.....	13
Importancia del pH en el ambiente ruminal.....	13
<u>Determinación de la digestibilidad y el uso de marcadores</u>	15
<u>Enzimas en la nutrición animal</u>	17
Carbohidratos estructurales.....	18
<u>Rendimiento y calidad de la canal</u>	18
pH.....	18
Color	18
Características organolépticas.....	19
Efecto de la dieta en la canal.....	20

JUSTIFICACIÓN	.....	22
OBJETIVO	.....	22
HIPÓTESIS	.....	22
METODOLOGÍA		
<u>Estrategia general</u>	.....	23
Etapa 1	.....	23
Lugar	.....	23
Animales	.....	23
Instalaciones y alimentación	.....	24
Sacrificio y rendimientos de canal	.....	25
Etapa 2	.....	25
Dureza, color y composición química de la carne	.....	25
Digestibilidad <i>in vivo</i>	.....	26
Determinación del consumo voluntario	.....	26
Etapa 3	.....	26
Análisis estadístico	.....	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
<u>Digestibilidad <i>in vivo</i></u>	.....	28
<u>Utilización de cromo para la determinación de</u>		
<u>consumo voluntario</u>	.....	31
<u>Rendimientos y características de la canal</u>	.....	34
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	.....	38
REFERENCIAS	.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Sacrificio histórico en rastros Tipo Inspección Federal (TIF) Nacional.....	10
Figura 2.- Valor de las importaciones de carne bovina (miles de dólares).....	10

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.- Niveles recomendados de fibra neutro detergente (FDN), en la dieta de rumiantes, en función del peso vivo.....	14
Cuadro 2.- Peso promedio por tratamiento al iniciar la investigación.....	24
Cuadro 3.- Composición de la dieta integral (en base seca).....	24
Cuadro 4.- Composición química (en base seca) de la dieta integral	28
Cuadro 5.- Composición química (en base seca) de las heces (media y desviación estándar).....	29
Cuadro 6.- Digestibilidad <i>in vivo</i> de los componentes químicos (media y desviación estándar) en base seca de las dietas.....	30
Cuadro 7.- Salida del programa “SPSS 13.0 for windows”, para regresión cuadrática, en la medición de cromo, de un solo novillo.....	32
Cuadro 8.- Determinación de la producción fecal, consumo de materia seca y su porcentaje respecto al peso vivo, de un solo novillo, utilizando los valores de la regresión cuadrática.....	33
Cuadro 9.- Determinación del consumo de materia seca (kg d^{-1}) usando cromo, Fórmula según NRC y el observado global.....	33
Cuadro 10.- Ganancia diaria de peso, rendimientos en canal, contenido de grasa perirrenal, (media y desviación estándar) conformación de pierna y cobertura grasa (frecuencias)	35
Cuadro 11.- Marmoleo (frecuencias) y color (media y desviación estándar) en las chuletas.....	36
Cuadro 12.- Grosor de la grasa, dureza al corte, proteína cruda y grasa cruda respecto a la materia seca y humedad en chuletas (media y desviación estándar).....	37

RESUMEN

Vargas RJM, Mendoza MG, Rubio LM, Castrejón PF. “Características productivas y de la canal en ganado de carne estabulado con la utilización de enzimas fibrolíticas” El objetivo de la presente investigación fue evaluar la respuesta productiva, características de la canal y la digestibilidad de las paredes celulares, en dietas para novillos en engorda intensiva en corral, usando 0,2,4, y 6 kg ton⁻¹ de un producto comercial de enzimas fibrolíticas, además se determinó si la respuesta era cuadrática. Se utilizaron 28 novillos (Cebú x Pardo Suizo predominantemente), con peso promedio inicial de 360 kg, el diseño fue completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y siete repeticiones cada uno. La dieta tenía 88% concentrado y 12% forraje en base seca. Después de 45 d de engorda, se administraron 3 g de CrO₂ a cada novillo y se recolectaron las heces de cada uno durante 33 h continuas. Luego de 90 d, los novillos se sacrificaron y pesaron para obtener los rendimientos de canal caliente y fría. Con la media canal izquierda de cada novillo y tres chuletas de cada una, se determinaron: porcentaje de grasa perirrenal respecto a la canal, conformación de pierna y de grasa subcutánea; marmoleo, área, grosor de grasa, composición química y color de la chuleta. Utilizando la lignina como marcador interno en las heces recolectadas se calculó la digestibilidad de la materia seca (MS) y fracciones de la fibra. El consumo de MS por novillo se calculó usando el Cr como marcador externo. Los datos de las variables productivas y de digestibilidad se usaron para un análisis de regresión cuadrática, mientras que con los valores de las clasificaciones de canal se hizo un análisis no paramétrico de Friedman. En los resultados de comportamiento, características de la canal y digestibilidad no hubo diferencia entre los tratamientos (p>0.05). Por tanto, se concluye que la adición de enzimas fibrolíticas exógenas (0, 2, 4 y 6 kg ton⁻¹ alimento) no influyó en las variables productivas ni en las de la canal en novillos alimentados con una dieta con 88% de concentrado y 12% de rastrojo de maíz.

ABSTRACT

Vargas RJM, Mendoza MG, Blond LM, Castrejón PF. "Productive Characteristic productive and carcass in feedlot steers with the use of Fibrolytic enzymes." The objective of this research was to determine if there were differences in productive response, carcass characteristics and cell wall digestibility, in feedlot rations, when using different levels of a commercial exogenous fibrolytic enzymes (0,2,4 y 6 kg/ton of feed), in order to determine if there was a quadratic response. Twenty eight crossed Zebu x Brown swiss were used with initial body weight of 360 kg average, allotted in a completely randomized design in four treatments with seven replications each one. Experimental diet consisted in 88% concentrated and 12% forage in dry basis. After 45 days, 3 grams of chromium oxide were administered for each animal and feces were collected during 33 hours continuously. After 90 days, steers were slaughtered and weighed in carcass to obtain yields (cold and hot carcass). Using the half left carcass from each animal, and 3 steaks from each one, were performed the following analyses: percentage of fat perirrenal, leg conformation and subcutaneous fat; marbling, area, fat thickness, chemical composition and color of the steaks. Using lignin as an internal marker in collected feces was estimated dry matter and fiber fractions digestibility. Using chromium oxide dry matter intake was estimated. Productive variables and digestibility were tested for quadratic regression whereas the carcass results to non parametric analyses of Friedman. Performance results, digestibility and carcass show no differences among treatments ($p>0.05$), therefore it is concluded that using exogenous fibrolytic enzymes at levels of 0, 2, 4 y 6 kg per ton of feed did not affected any of the variables in steers fed with a diet with 88% concentrated and 12% of corn stover.

INTRODUCCIÓN

Los herbívoros no pueden sintetizar las enzimas que hidrolizan los enlaces β 1-4, constituyentes de los polisacáridos en las paredes celulares de los vegetales; por ello dependen de las enzimas producidas por los microbios que han colonizado su tubo gastrointestinal. Los rumiantes son los mejor adaptados para aprovechar estas paredes celulares gracias a su fermentación pregástrica (rumen-reticular). Esta fermentación permite a los microorganismos obtener la energía para su mantenimiento y desarrollo en un proceso anaeróbico donde se producen ácidos grasos volátiles (AGV), que proporcionan a su vez la energía para el animal hospedero.¹

Un problema principal en los sistemas de producción de rumiantes en México es la calidad nutricional de los ingredientes. Los forrajes utilizados en un estado de madurez muy avanzado representa una gran desventaja, debido a que aumenta el contenido de celulosa, lignina y sílice, lo que reduce la digestibilidad en comparación con un forraje joven.² Los carbohidratos estructurales (fibrosos) en la pared celular vegetal ejercen la encapsulación de nutrientes muy digestibles (almidón, grasas o proteínas), afectando su grado de disponibilidad. El uso de enzimas exógenas como la alfa-galactosidasa, beta-glucanasa, celulasa, etc., presentes en diversos productos comerciales y que pueden modificar las condiciones físico-químicas del ambiente ruminal, rompen las paredes celulares, aceleran la hidrólisis de los carbohidratos estructurales y favorecen la asimilación de estos azúcares simples por los microorganismos ruminales. El producto comercial utilizado en el presente estudio es una mezcla de enzimas (xilanasas principalmente) derivadas de hongos como *Aspergillus niger* y *Trichoderma viridae* que son los más usados con actividad fibrolítica. Diversos autores (Zinn *et al.*,³ 1999, Yang *et al.*,⁴1999, y Feng *et al.*,⁵1992) reportan aumentos en la digestibilidad de la fibra utilizando enzimas exógenas. Pero Beauchemin *et al.*⁶ (1999) y Lewis *et al.*⁷(1996) no encontraron dichos efectos, atribuyendo el fenómeno al alto contenido de carbohidratos solubles en la dieta, sin embargo algunos estudios,⁸ muestran que aun en dietas altas en grano, se pueden tener beneficios al utilizar enzimas fibrolíticas. La respuesta animal a enzimas exógenas

por lo general es no lineal, se reportan respuestas cuadráticas al incrementar la dosis enzimática.⁹ En regiones tropicales se han desarrollado diversos sistemas de engorda intensiva, donde se podrían obtener ventajas al incorporar enzimas exógenas en dietas con forrajes de baja digestibilidad.^{10,11}

Por ello el presente estudio plantea que dosis crecientes de enzimas fibrolíticas exógenas aplicadas a dietas altas en grano causan modificaciones positivas en la respuesta productiva y características de la canal de novillos en finalización.

REVISIÓN DE LITERATURA

La ganadería internacional

Situación actual

México puede incursionar de manera importante en el mercado internacional de la carne, como proveedor de animales o exportador de cortes finales. De 1995 a la fecha, el sector internacional ha pasado por cambios drásticos, debido a un incremento en el comercio mundial y los brotes de enfermedades como la encefalitis espongiforme bovina (EEB). Estos dos factores han tenido una marcada influencia en los hatos ganaderos en los países que participan en el comercio de la carne. En el caso de los dos socios comerciales de México al norte, la presencia de esta enfermedad ha mermado su capacidad de exportación al mercado internacional, ocasionando un saldo negativo en la balanza comercial de carne de res de 2.8 billones de dólares en EE.UU. Así, hay un reacomodo en las exportaciones de carne de res en el mundo; Australia y Nueva Zelanda han incrementado sus exportaciones hacia los mercados asiáticos (Japón y Corea principalmente) y satisfacen los espacios que no cubrió la carne estadounidense. Además Brasil y Argentina han incrementado sus exportaciones principalmente al medio oriente, y Europa.¹²

En contraste, Canadá ha destinado su exportación (alrededor del 90%) a EE.UU. y México, mientras que la Unión Europea a pesar de ser una región exportadora de carne de res, ha participado modestamente en el mercado de la ex Unión Soviética. Para dimensionar el impacto que ha causado la EEB en los mercados mundiales de la carne, basta indicar que antes de las restricciones de importación de la carne norteamericana, el mercado Japonés representaba cerca del 48% del total del volumen de carne que exportaba EE.UU. 65% del mercado coreano era dominado por los norteamericanos.¹³

Las perspectivas para que Estados Unidos recupere esos mercados a corto y mediano plazo, dependerán en gran medida de obtener la aceptación de los consumidores. Sin lugar a duda, la carne norteamericana tiene una gran demanda por los consumidores asiáticos, ya que se considera de mejor calidad, por su marmoleo y suavidad, como resultado de la finalización intensiva, en comparación

con la carne australiana y de Nueva Zelanda, producto del sistema de pastoreo. Por otro lado, las barreras sanitarias de carne procedente de países con problemas diversos que no existen en México, han propiciado que este país pueda incursionar en la exportación de carne de calidad suprema hacia los mercados internacionales, la limitada capacidad de nuestra industria de carne impide lograr una mayor participación en este rubro.^{13,14}

La ganadería nacional

Situación actual

El inventario pecuario ha disminuido desde 1993, a un ritmo mayor al 5% anual. Los costos financieros del sector agropecuario mexicano son 300% superiores a los de EE.UU. donde la productividad de los trabajadores agropecuarios es 18 veces superior a la de un productor mexicano.¹⁵ Estas comparaciones se tornan difíciles si se considera una diferencia marcada entre los subsidios gubernamentales entre ambos países.

En México hubo un ligero repunte, desde este cierre de las fronteras a la carne estadounidense durante 2003 y 2004, que fue suficiente para influir en los precios del ganado en pie y en los precios de canal, si a ello se suma una ligera disminución en los precios de las materias primas utilizadas en la engorda de novillos. Sin embargo, este efecto positivo ya no tiene vigencia y México continúa siendo en primer exportador de becerros a Estados Unidos.

No obstante, se estima un aumento sostenido en el consumo de carne en nuestro país para el 2014, (1.58 vs. 1.72 millones t). Aunque las proyecciones de producción van a la alza (1.22 vs. 1.26 millones t), es evidente que habrá un déficit en la balanza, por lo que las importaciones de carne extranjeras serán necesarias para satisfacer las demandas del consumo.¹⁶

Para hacer frente a la demanda interna de carne el sector ganadero especializado tendrá que hacer ajustes importantes en sus sistemas de producción. Los factores fundamentales para esta reconversión en la industria de la carne son la adopción de nuevas tecnologías y la legislación en materia sanitaria y comercial que se desarrolle en los próximos años.

Zonas de producción ganadera

Para entender las características y limitaciones inherentes en la producción de carne nacional, se debe sub dividir el país en cuatro regiones ganaderas (árida y semiárida, trópico seco, trópico húmedo y templada) con características de producción de ganado de carne bien definidas y distintos grados de productividad y rentabilidad.

En las regiones árida y semiárida (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí) se concentra aproximadamente 22% del ganado de carne de México que aporta 27% de ganado en pie para la producción de carne.^{13,17} En estas zonas, se produce 28% del total de carne en canal en el país y se caracteriza por sistemas de producción vaca-cría y engorda en corral. Tradicionalmente y dada su situación geográfica, esta ha sido una región productora de becerros para la exportación, participando anualmente con alrededor de un millón de cabezas de becerros y vaquillas para el mercado de EE.UU.¹⁴ No obstante, cuando el mercado de la exportación se contrae, los becerros son comercializados en forma local o se destinan a la engorda en corrales del centro del país.

En el trópico seco (Colima, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa y Tamaulipas) se encuentra alrededor del 28% del inventario del hato nacional de bovinos de carne, con 18% del total de la carne en canal en México. Esto se debe a los reducidos índices de gestación (55-60%) y los bajos pesos al destete de las crías (150-180 kg). El sistema de producción predominante es el de doble propósito con ordeña en épocas de lluvias, y la producción es principalmente para satisfacer la demanda nacional, aunque Estados como Tamaulipas y Colima participan en forma modesta, en la exportación de becerros.

Los Estados de Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Veracruz, Tabasco y Yucatán, conforman el trópico húmedo que representa la zona con el mayor inventario de ganado (32%) y aporta aproximadamente 28% de la producción de carne en canal en México. Sin embargo, esta región se caracteriza por la alta incidencia de enfermedades y bajos niveles de tecnificación, limitando su participación a la producción de carne en el país. Sobresale el sistema de doble

propósito con producciones de becerros al destete, venta diaria de leche, lo que permite liquidez en los ranchos. Se han establecido corrales de engorda en ciertas localidades y han comenzado a desplazar al sistema de engorda de becerros en pastoreo. No obstante, esta región es fundamental para el desarrollo de las engordas en las zonas templadas del país, al aportar gran parte de los becerros que se finalizan en los corrales.^{13,17} En la zonas centro con clima templado, (Aguascalientes, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Edo. de México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala) se concentra 18% del inventario de bovinos de carne y alrededor de 27% de la producción nacional de carne en pie. Los principales sistemas de producción son vaca-cría y en forma limitada engorda en corrales, que contribuyen al abasto del mercado nacional. En esta parte del país los sistemas de producción son muy variados, con un grado de tecnificación inferior al observado en las explotaciones de las zonas áridas. La heterogeneidad en el tipo y razas de ganado que se engordan, propician una gran variación en la carne producida en esta región. Además, la baja tecnificación en las explotaciones y la fluctuación entre el grado de madurez y la composición de la carne, ocasionan una baja competitividad sobre la carne de importación o la carne producida en otras regiones del territorio nacional.^{15,17}

Sistemas de producción nacional

Hay diferentes sistemas productivos, el más difundido es el de tipo extensivo que arrastra a un impacto ecológico negativo cuando es mal manejado. Este modelo cobró fuerza en la década de los setentas cuando la expansión ganadera abarcó 65% de la superficie nacional. Sin embargo, los cambios económicos en la década de los ochenta, incidieron profundamente en los márgenes de beneficio y se debe reflexionar acerca del modelo extensivo para la ganadería bovina.^{17,18}

Los bovinos producidos en pastoreo extensivo tienen dos mercados: la exportación de becerros a los EE.UU. y el mercado interno. Así, ubicada en el norte del país, se mantiene la venta de becerros como la actividad fundamental de los ranchos debido al ecosistema, a la proximidad del mercado norteamericano y a la normatividad (en vigencia hasta 1991) de que la venta de becerros sería exclusiva para los Estados de esa región.

La ganadería mexicana como economía está integrada al mercado internacional, el producto más importante ha sido la exportación de becerros al destete. También se exportan pequeños volúmenes de carne bovina, cortes congelados de carne de cerdo, carne deshuesada de ave y carne de equino, pero su destino es fundamentalmente a EE.UU. y ahora en menor escala a Japón.¹⁴

El mercado nacional de carne de res carece de articulación desde la fase primaria hasta la distribución. El proceso de comercialización es sumamente artesanal y fragmentado y las mejoras e inversiones no repercuten hacia el consumidor en cuanto a calidad y precio. Por ejemplo, la venta de ganado del criador al engordador se realiza por lotes heterogéneos, directamente o por un intermediario, sin considerar alguna clasificación por raza o peso. En la venta del ganado finalizado (gordo) porque no hay clasificación de carnes, el productor no se preocupa por entregar una clase homogénea, en estas fases hay un pronunciado intermediarismo.^{17,18} Estas malas prácticas de producción y sacrificio se reflejan en el escaso sacrificio de los animales en rastros TIF (Tipo Inspección Federal), que cumplen con los requisitos para una competencia global en la producción de esta carne (Figura 1).

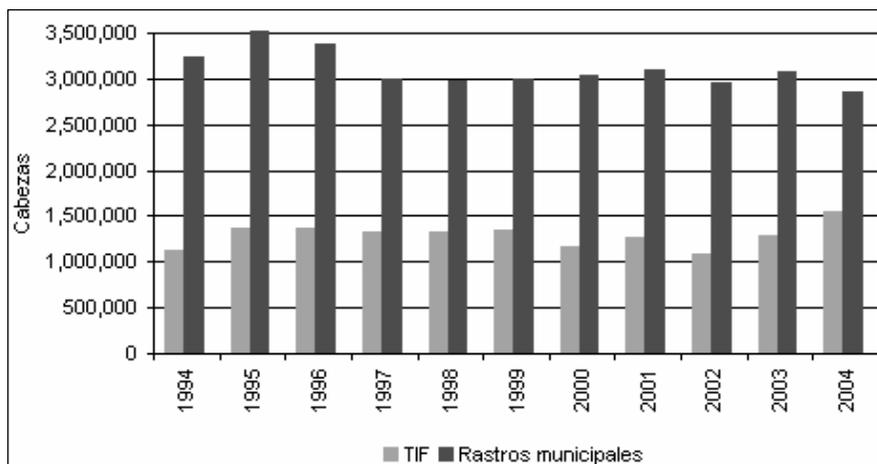
La ganadería de engorda en confinamiento es fundamentalmente de tenencia privado lo cual no necesariamente significa que se realice como una actividad empresarial; más bien predominan prácticas conservadoras y tradicionales en el manejo, lo cual no concuerda con el concepto de globalización actual. Bajo este sistema de producción, el abasto nacional se torna dependiente de las importaciones de carne de res, como se muestra en la Figura 2.

Nutrición de los rumiantes

Composición de la fibra

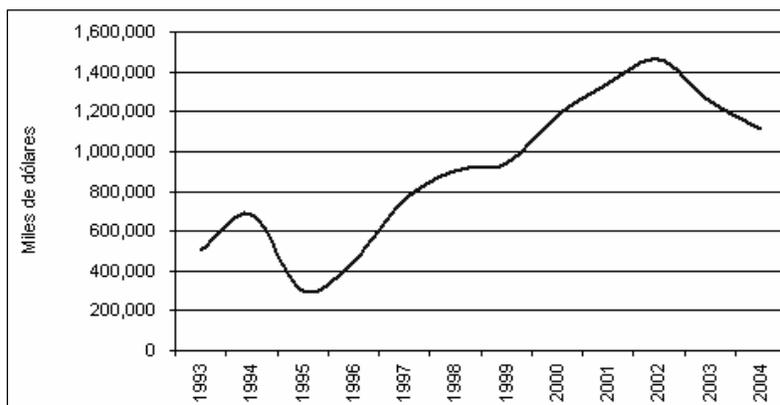
La fibra vegetal se forma de un entramado tridimensional de celulosa, hemicelulosa y lignina, y frecuentemente se asocian minerales y otros componentes. La celulosa, una estructura compuesta por unidades de glucosa posee enlaces β 1-4 de glucopiranosas. La hemicelulosa deriva de las cadenas de pentosas y actúa como cemento junto con la celulosa. Estos polímeros densos de la pentosa son conocidos como xilanos, conformados por xilosa, arabinosa,

Figura 1.- Sacrificio histórico en rastros Tipo Inspección Federal (TIF) Nacional



Fuente: INEGI 2005

Figura 2.- Valor de las importaciones de carne bovina (miles de dólares)



Fuente: INEGI 2005

galactosa, manosa, ácidos urónicos (galacturónico y glucourónico) la digestibilidad de este compuesto se ve limitada generalmente por el contenido de lignina.

La lignina es un compuesto fenólico de alto peso molecular, da rigidez a la pared vegetal y limita la disponibilidad de los carbohidratos estructurales para los microorganismos ruminales. La madurez vegetal incrementa el contenido de ácidos fenólicos y por consiguiente el contenido línico.¹⁹

Fracciones de la fibra

La fibra se define con los siguientes lineamientos:²⁰

Fibra bruta (FB): es el residuo insoluble de una digestión en solución ácida, después de una alcalina; este residuo contiene celulosa, y cantidades variables de hemicelulosa, lignina y compuestos nitrogenados. La magnitud de la contaminación de la FB depende del tipo de vegetal y de su estado de desarrollo fisiológico, lo que conduce a errores que dificultan su interpretación, por lo que el uso de la FB en los sistemas actuales debe ser limitado y no se recomienda su análisis.²⁰

Fibra detergente neutro (FDN): es el material insoluble en una solución detergente neutra, y se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina; además, hay componentes minoritarios como residuos de almidón, cenizas y nitrógeno. Para determinar de FDN en concentrados Van Soest *et al.*²¹ (1991) recomiendan usar amilasas termoestables específicas (libres de actividad hemicelulasa, proteasa o glucanasa), especialmente en concentrados o ensilados de maíz, y la corrección por el contenido en cenizas; por tanto se considerada el método más apropiado para la determinación de paredes celulares.

Fibra detergente ácido (FDA): es el material insoluble en una solución detergente ácida, y constituido por celulosa y lignina, aunque hay otros componentes minoritarios como nitrógeno (ligado a FDA) o minerales. Como en el caso de la FDN, se sugiere la corrección por el contenido en nitrógeno y cenizas.

La diferencia entre FDN y FAD consiste fundamentalmente en el contenido de hemicelulosa.

Degradación ruminal de la fibra

Una dieta a base de forrajes es rica en carbohidratos fibrosos y contiene además nutrientes nitrogenados proteínicos y no proteínicos. Los granos en cambio tienen un contenido alto en almidón, los microorganismos ruminales procesan de una manera diferente estos alimentos dada su diferencia molecular; por tanto, la proporción de forraje : concentrado en la dieta de los rumiantes, marcará el tipo de población microbiana y el tipo de fermentación.²²

Hay cuatro factores principales que regulan la degradación de las paredes celulares en las plantas²³:

Estructura y composición de las plantas que regulan el acceso microbiano a los nutrientes.

La naturaleza de las poblaciones microbianas predominantemente fibrolíticas.

Factores microbianos que controlan la adhesión y la hidrólisis por complejos de las enzimas hidrolíticas de las poblaciones microbianas adherentes .

Factores animales que incrementan la disponibilidad de los nutrientes a través de la masticación, salivación y cinética del quimo.

La digestión de la fibra (paredes celulares) se realiza, mediante la fermentación ruminal, debido a la acción de las bacterias fibrolíticas. Para ello primero debe existir una adhesión de las bacterias a la pared vegetal, lo que se realiza a una velocidad inversamente proporcional al grado de lignificación de dicha pared. Una vez adheridas, la degradación de los componentes de la pared celular es por la acción de las celulasas y hemicelulasas y varía en función de la composición, el entramado tridimensional de los componentes y el grado de lignificación. Las bacterias fibrolíticas producen celobiosa, glucosa o pentosas como productos intermedios, y utilizan vías fermentativas con acetato como producto final¹⁹ que es importante en la síntesis de grasa y por tanto su producción es necesaria.²⁰

La fibra contribuye al mantenimiento del funcionamiento ruminal, como la rumia, llenado ruminal y estímulo de las contracciones ruminales; y de las condiciones ruminales, por ejemplo, en el pH a través de la secreción salivar que depende de la masticación y la rumia. Estas dos funciones dependen de la forma de presentación de la fibra, composición, y degradabilidad. Por eso la fibra supone un inconveniente porque limita el contenido energético de las raciones (baja digestibilidad) y el potencial de ingestión.²⁰ La formulación correcta de dietas debe buscar un equilibrio entre la ingestión máxima de materia seca (MS), con niveles bajos de FDN y mantener de las funciones y condiciones normales del rumen, al aportar los niveles mínimos de FDN y FDA.²

Implicaciones de las fracciones de la fibra

Ha cambiado el uso de la FDN como criterio determinante de la ingestión de la MS y función ruminal, funciones que dependen directamente de la forma de la fibra ya que su efecto es fundamentalmente de carácter físico. El funcionamiento normal del rumen requiere el mantenimiento de una masa de forraje en el rumen, el National Research Council² (NRC) sugiere la necesidad de garantizar un mínimo de FDN procedente de forrajes (Cuadro 1).

El consumo de materia seca es importante para calcular la eficiencia y la conversión alimenticia del ganado, por influir sobre la productividad; sin embargo, su predicción está limitada porque es modificado por factores como son el tamaño corporal y el estado fisiológico del animal, características físico-químicas del forraje y condiciones ambientales.¹⁹ En bovinos para carne estabulados el consumo de MS en dietas con altas proporciones de concentrado está determinado más por factores metabólico ruminales que por un llenado físico, lo que se establece directamente por los cambios en la FDN de la dieta.²⁴ Es posible reducir los niveles de FDA en las dietas si los niveles de FDN son adecuados y se utilizan sustancias amortiguadoras como factor preventivo de acidosis.²

Importancia del pH en el ambiente ruminal

Un factor muy importante es el pH ruminal, del cual depende directa o indirectamente la actividad de las bacterias fibrolíticas, el equilibrio de la microflora ruminal y la concentración relativa de los principales ácidos grasos volátiles (AGV). El pH ruminal es la consecuencia del equilibrio entre la producción de ácido, su absorción y la capacidad amortiguadora del medio ruminal. La producción de ácido depende de la fermentabilidad de la dieta, que a su vez depende de la cantidad y de la velocidad de degradación de los almidones. El riesgo de acidosis es mayor al aumentar la cantidad y velocidad de degradación de los almidones.²⁰

La capacidad amortiguadora del medio ruminal depende de la cantidad de saliva segregada por el rumiante y de la capacidad amortiguadora de los alimentos ingeridos. La cantidad de saliva segregada por minuto de masticación o rumia depende del tipo de alimento, porque el tiempo empleado para la masticación y

rumia depende del contenido en paredes celulares; así con un mayor contenido de fibra, aumenta el tiempo de masticación y la secreción de saliva.¹

Cuadro 1.- Niveles recomendados de fibra neutro detergente (FDN), en la dieta de rumiantes, en función del peso vivo (PV) según el NRC, 2000.

Contenido de FDN recomendado ^a	Observaciones
0.75	Mínimo si la dieta contiene 1,3 a 1,4% del PV como FDN total a través del uso de fibras de subproductos.
0.85	Mínimo si la dieta proporciona 1,1 a 1,2% del PV como FDN total en dietas ricas en almidones
0.90	Nivel moderadamente bajo
0.95	Nivel adecuado
1.00	Nivel moderadamente alto
1.1-1.2	Máximo recomendado

^a proveniente de forrajes (% del peso vivo).

La capacidad amortiguadora de los alimentos es otro factor importante en el control del pH ruminal. Este factor depende de la capacidad de intercambio iónico (fundamentalmente dependiente de grupos carboxilo, amino e hidroxilos alifáticos y fenólicos) y de la fermentación de la proteína a amoníaco.²¹ Tanto forrajes (alfalfa) como concentrados pueden tener una capacidad de intercambio iónico elevada, mientras otros forrajes (ensilado de maíz, ballico, paja) y concentrados (granos, pasta de soya y girasol) tienen una capacidad de intercambio iónico escasa. Esta información permite valorar los riesgos de acidosis dependiendo del tipo de alimento utilizado y la posible necesidad de usar sustancias amortiguadoras para controlar el pH ruminal. Estos factores soportan el mantenimiento de las condiciones ruminales y repercuten en la incidencia del síndrome de acidosis ruminal, en el nivel graso de la leche, ganancia de peso y en la incidencia de desplazamientos de abomaso.^{19,20}

Un pH ruminal adecuado determina el crecimiento bacteriano, la digestión de los carbohidratos y la producción de AGV. El pH mínimo al cual las bacterias fibrolíticas pueden mantener su tasa de crecimiento sobre la tasa de dilución se encuentra alrededor de 6.15; con un pH 5.7 la población microbiana cae bruscamente.²⁵

Entre los aditivos más usados para controlar el pH ruminal están el bicarbonato y el óxido de magnesio, productos con funciones distintas ya que el bicarbonato es por definición una sustancia amortiguadora (resistencia al cambio de pH), pero el óxido de magnesio es una sustancia alcalinizante. Los ionóforos son antibióticos poliéteres de alto peso molecular, inhiben selectivamente a las poblaciones bacterianas grampositivas, consideradas nocivas en el rumen porque producen ácido láctico; con ello se favorecen las poblaciones gramnegativas que producen propionato y succinato. Sus efectos bacteriostáticos están relacionados con su transporte iónico de membrana, intercambiando el K^+ por el Na^+ e H^+ a través de la membrana celular; se disminuye el pH intracelular y las concentraciones de K^+ , pero aumentan el nivel de Na^+ intracelular. Con estos cambios en la fermentación también disminuye la producción de metano, lo que se relaciona con el incremento en la proporción relativa de ácido propiónico ruminal y la reducción de las proporciones relativas de ácido acético y butírico. Otro efecto de los Ionóforos es la alteración de la absorción y retención de minerales, por ejemplo, disminuyen la retención de Na^+ y aumenta la de K^+ , Zn^+ y S^+ . Además los ionóforos propician la reducción de protozoarios ruminales y el incremento de proteína de origen microbiano en el intestino.²⁶

Determinación de la digestibilidad y el uso de marcadores

Para evaluar ingredientes o moduladores del valor nutricional es necesario conocer la cantidad consumida del alimento, en sistemas de libre pastoreo esto es muy complicado. Este problema existe también en corrales de engorda sin corraletas individuales que permitan la medición del consumo (método directo). Para conocer este consumo se utiliza la fórmula siguiente:¹⁹

$$\text{Consumo de materia seca} = \text{Total de heces producidas} \times (100 / (100 - \text{digestibilidad del alimento}))$$

Debido a esto, se debe contar con un método que permita conocer la cantidad de heces producidas; tener jaulas metabólicas que permitan la recolección total de

heces (método directo), pero cuando no se tienen, se puede recurrir a métodos indirectos. Un ejemplo es el uso de marcadores externos, que no se encuentran en el alimento, la condición para su uso es no afectar el metabolismo ruminal, no interferir con el consumo de materia seca y sobre todo, que se pueda recuperar en su totalidad en las heces. Un compuesto muy utilizado para este fin es el sesquióxido de cromo (Cr_2O_3) que se dosifica varias ocasiones para lograr que el rumen mantenga un estado de equilibrio; en la mayoría de las ocasiones se dosifica 7 d y la recolección de igual número de días. Mediante un cálculo sencillo se determina la producción de heces.¹⁹

$$\text{Total de heces producidas} = \frac{\text{Dosis diaria del marcador}}{\text{Marcador en heces}}$$

Además, se puede contar con marcadores internos, que se encuentran en el alimento consumido de manera natural:

Lignina: es un polímero indigestible de varios componentes (alcohol fenilpropanoide, ácido ferulico y ácido paracumárico) y forma parte de la estructura de la pared celular de las plantas, en los forrajes puede estar asociada a partículas fibrosas de la dieta. Algunos factores que afectan la recuperación fecal de lignina son la inmadurez de las plantas consumidas por el animal, que resulta en una polimerización menor, por tanto, algunos carbohidratos asociados a este complejo pueden ser digestibles. Los componentes de bajo peso molecular pueden ser absorbidos y excretados por orina.^{20,27}

Sílice y cenizas insolubles en ácido: el sílice fue uno de los primeros marcadores usado como indicador para evaluar la digestibilidad, pero su recuperación es variable, lo que se atribuye a problemas de absorción, excreción urinaria y contaminación del suelo²⁸; sin embargo, se recomienda para la evaluación de consumo en pastoreo. Las cenizas insolubles en ácido se han utilizado para evaluar la digestibilidad, con resultados confiables si la

dieta contiene menos de 0.75% de cenizas insolubles en ácido; la variación diurna en la producción de heces es un problema con este método.²⁹

La determinación de la digestibilidad es simple, porque se analiza en proporción la cantidad de un nutriente excretado respecto al ingerido; sin embargo, esta medición es incorrecta porque hay nutrientes producidos en el rumen, como los compuestos nitrogenados, ácidos grasos, minerales y carbohidratos no estructurales de origen endógeno.¹⁹ Debido a esto, la determinación se denomina digestibilidad aparente, se expresa como porcentaje de la MS o de la materia orgánica (MO). La fórmula general, para obtener la digestibilidad es:¹⁹

$$\text{Digestibilidad (\%)} = \frac{\text{Consumido} - \text{excretado}}{\text{Consumido}} \times 100$$

Enzimas en la nutrición animal

Las enzimas exógenas, facilitan una alimentación animal más eficiente en términos de asimilación y costo, amigable con el medio ambiente. Las enzimas son proteínas que actúan como eficaces catalizadores biológicos, participan de diversas reacciones (acelerándolas) y pueden incrementar la digestibilidad del alimento para los animales. La producción de enzimas tiene como base la utilización de microorganismos, sobre todo hongos y bacterias; los microorganismos pueden secretar enzimas hidrolíticas que los organismos animales son incapaces de producir.^{30,31}

Se requieren ensayos con cientos de cepas antes de identificar una adecuada y que produzca los volúmenes necesarios; industrialmente hay 2 métodos:³²

Emersión (fermentación superficial), en medios sólidos o pastosos, con ventilación de la superficie. Una vez terminado el proceso de fermentación, los medios sólidos se homogenizan, se ajusta la humedad alrededor de 10-12% y se pulverizan.

Inmersión, donde los microorganismos productores se instalan en el interior de un tanque que contiene un medio de cultivo líquido. Finalizada la

fermentación, los productos se purifican, normalizan y pueden comercializarse en forma líquida o sólida.³¹

Carbohidratos estructurales

El uso de enzimas fibrolíticas exógenas en rumiantes aumenta el aprovechamiento de los carbohidratos estructurales vegetales, como celulosa y hemicelulosa,³³ lo cual puede incrementar el consumo de nutrientes digeribles. Hay enzimas exógenas administradas con los alimentos y manufacturadas a partir de los productos de la fermentación de bacterias (*Bacillus spp.*) u hongos (*Aspergillus*, *Trichoderma spp.*). Una diferencia sustancial entre los productos comerciales es el tipo de sustrato utilizado y lo más común es una mezcla de enzimas xilanasas, celulasas y hemicelulasas.¹⁰ Los extractos enzimáticos son protegidos por glucosilación, para actuar en el rumen sin ser degradadas.³⁴

Rendimiento y calidad de la canal

La calidad de la carne está determinada por diversos factores entre los más importantes están el pH, color, características organolépticas y efectos de la dieta del animal.

pH

El pH determina la cantidad de proteínas hidrofílicas y la presencia de iones como calcio, sodio, cloro y potasio. Un máximo de 5% del total de agua del músculo está ligada a estas proteínas hidrofílicas (agua fuertemente ligada), una gran parte del resto de agua se inmoviliza por la propia configuración física de las proteínas (agua débilmente ligada), y ésta última es la susceptible de ser removida al aplicar una fuerza externa. La velocidad en el descenso post mortem tiene una función importante para obtener una carne aceptable por el consumidor. El pH deberá descender bruscamente en las primeras 4 h (5.8 a las 4 h postmortem) el descenso posterior será paulatino hasta alcanzar 5 a 5.5 a las 24 h.^{35,36}

Color

El color es el resultado de tres elementos:

- a) Cantidad de pigmento: mioglobina
- b) Forma química del pigmento

c) Cantidad de luz reflejada por la superficie

La forma química define el color (rojo o marrón) mientras que el nivel de pigmento y la cantidad de luz reflejada condicionan la intensidad del color (claro u oscuro). La evolución del pH post-mortem influye considerablemente en el color de la carne ya que afecta la estructura de la superficie de la carne y la proporción de luz incidente reflejada; si el pH es elevado (superior a 6) la red proteínica se deja penetrar profundamente por los rayos de luz y absorbe una parte importante lo que se traduce en un color oscuro.³⁶

Características organolépticas

Un factor principal para que una carne sea aceptable desde el punto de vista sensorial, es la terneza o suavidad.³⁷ Este y otros factores, como la jugosidad y color son influenciados por el sexo del animal, la edad, la raza y la alimentación, han sido estudiados de manera amplia por diversos autores.^{37,38}

Las cualidades sensoriales de la carne son las percibidas por el consumidor de carne.^{39,40}

a) La textura o consistencia que se caracteriza por las impresiones de terneza y jugosidad.

b) El sabor que reúne las sensaciones olfativas y gustativas; es la impresión compleja resultante de la percepción de olores y gustosidad que reposa sobre la existencia y características de sustancias químicas (volátiles y solubles).

c) La jugosidad es la impresión resultante de la masticación que es función del jugo liberado por la carne y además por la secreción salivar estimulada por la grasa.

d) La terneza es la impresión de suavidad, depende de la textura del tejido muscular (tamaño de la fibra), de la distribución y del tipo de tejido conjuntivo incluido y además por la facilidad inicial con que la carne se corta en trozos y el efecto sobre la masticación.

Un factor que puede explicar esta suavidad es el colágeno, del cual hay dos tipos: uno insoluble, estable a la temperatura, que indica madurez o vieja formación; otro de tipo soluble, que indica reciente formación y sobre todo termolabilidad. La

cocción de la carne desnaturalizará con facilidad el colágeno soluble, traduciendo esto en mayor ternura, mientras que el colágeno insoluble se vuelve termoestable gracias a sus enlaces cruzados y por tanto, se percibirá como dureza, dentro de la carne; la cantidad de colágeno termolábil en músculo esquelético bovino disminuye durante la madurez y que esta disminución es la responsable de la dureza de la carne; el colágeno se vuelve termoestable entre los 12-18 meses de edad en bovinos.³⁹

Efecto de la dieta en la canal

La alimentación de bovinos con dietas de energía alta, promueve incrementos rápidos en la síntesis de proteína y por consiguiente se produce colágeno de nueva formación, es decir, soluble.⁴⁰ La producción de colágeno es relativamente lento y cualquier aumento en proporción de la síntesis debe aumentar la proporción de colágeno inmaduro.

Un balance energético positivo en el metabolismo de novillos favorece la acumulación de grasa, que se deposita de manera intramuscular (marmoleo), visceral (perirrenal) y subcutánea (cobertura externa) principalmente. De los tipos de grasa depositada el más difícil de lograr es el intramuscular lo que representa altos costos de producción. A medida que aumenta el tejido graso en la carne (marmoleo) también lo hace la jugosidad y la sensación de ternura debido a que la carne pierde densidad; sin embargo, la sensación de ternura aumentado, no necesariamente se traduce en una menor fuerza al corte.⁴¹ No obstante el efecto de marmoleo representa una desventaja, porque para lograrlo, es inevitable el aumento de grasa interna que disminuirá el rendimiento de la canal en carne, es decir en cortes vendibles, esto se debe a que el espacio que debería ocupar el músculo empieza a ser ocupado por grasa, teniendo así un menor rendimiento en canal y una disminución en el contenido de nitrógeno total (proteína cruda) en el músculo.³⁵

Sin embargo esta pérdida se compensa en algunos mercados, debido al alto costo que puede llegar a tasarse por un corte selecto con buen contenido de grasa intramuscular. Además, el aumento en la cobertura grasa subcutánea acumulada permitirá una mejor protección de la canal a los efectos adversos producidos por

un enfriamiento drástico que ocasione el acortamiento de fibras, mermas en rendimiento o en algunos casos, el anillo de calor.⁴²

JUSTIFICACIÓN

Los resultados de la utilización de enzimas fibrolíticas son contrastantes, algunos autores indican una mejora de la variable productiva (Boyles *et al*⁴³., 1992, Lewis *et al*⁴⁴., 1995, Gómez-Vázquez *et al*⁴⁵., 2002; Chen *et al*⁴⁶., 1995); sin embargo, algunos otros mencionan que no existe diferencia alguna (Chen *et al*⁴⁷., 1996, Beauchemin *et al*⁴⁸., 1995; Cano *et al*⁴⁹., 2003).

La inconsistencia en los resultados puede atribuirse a factores que van desde la cantidad y tipo de la enzima utilizada hasta la composición de la dieta así como las características de las paredes celulares del forraje. Además, en la mayoría de esos trabajos previos se utilizó la dosis comercial sugerida sin rebasar ese límite, por lo que el intervalo de la dosis es muy pequeña.⁵⁰ Es necesario rebasar la dosis sugerida (1.5 kg t^{-1}) para conocer la respuesta y sus repercusiones productivas. Actualmente en las aplicaciones de la innovaciones tecnológicas, es importante conocer los resultados del producto final, en este caso, las características productivas y de calidad de las canales, producidas bajo este esquema.

OBJETIVO

Determinar si existen diferencias en la respuesta productiva, características de la canal y en la digestibilidad de las paredes celulares, al incluir un producto comercial de enzimas fibrolíticas ($0, 2, 4$ y 6 kg t^{-1} con 90% MS), superando la dosis comercial establecida en dietas para novillos en finalización en corral, con el fin de determinar si la respuesta es cuadrática.

HIPÓTESIS

Se espera una respuesta cuadrática a la dosis de enzima fibrolítica, en el comportamiento de los bovino y en las propiedades de las canales, así como una dosis óptima de enzimas fibrolíticas.

METODOLOGÍA

Estrategia general

En esta investigación se usaron 28 novillos en estabulación total, divididos en cuatro grupos y alimentados con una dieta alta en granos con cuatro niveles de enzimas fibrolíticas exógenas (0, 2, 4 y 6 kg ton⁻¹); después del periodo de engorda se evaluaron sus canales y chuletas. Durante el periodo de engorda se recolectaron muestras de heces y alimento.

La investigación se dividió en tres etapas:

Etapa 1: engorda de los novillos, recolección de heces y alimento, sacrificio, evaluación de canales y recolección de chuletas.

Etapa 2: análisis y determinaciones en laboratorio de las muestras recolectadas durante la engorda y el sacrificio,

Etapa 3: análisis estadístico de los resultados.

Etapa 1

Lugar

Se realizó en el rancho comercial “La estación” ubicado en el municipio de Coatepec, Veracruz. El sacrificio y evaluación de canales se hizo en el rastro municipal y la empacadora propiedad de la misma empresa.

Animales

Se utilizaron 28 novillos con una cruce de Cebu x Pardo Suízo (*Bos indicus* x *Bos taurus*) predominantemente. El peso promedio de recepción fue 360 kg (Cuadro 2). Fueron desparasitados, interna y externamente antes de comenzar con el experimento (Closantil y Amitraz). Se registró el peso luego de 3 d de estancia en el rancho; después comenzó el periodo de adaptación al manejo y la dieta, (21 d). Transcurrido este tiempo los novillos fueron pesados nuevamente y desparasitados por vía oral (Albendazol).

Cuadro 2.- Peso promedio por tratamiento al iniciar la investigación

	kg	Desviación estándar
Testigo	364.71	58.84
2 kg t ⁻¹	341.00	33.59
4 kg t ⁻¹	363.00	24.28
6 kg t ⁻¹	372.43	32.88

Instalaciones y alimentación

Durante la etapa de adaptación la proporción de concentrado en relación al forraje aumentó hasta alcanzar 88% concentrado y 12% forraje en materia seca. Esta dieta integral (Cuadro 2) se elaboró con rastrojo de maíz, grano molido de maíz, pasta de soya, melaza, sebo, sales minerales y el nivel correspondiente de producto comercial^a a base de xilanasas en el tratamiento (0, 2, 4 y 6 kg t⁻¹).

Cuadro 3.- Composición de la dieta integral (en base seca)

Ingrediente	Inclusión (%)
Maíz molido	60.07
Sebo	3.38
Pasta de soya	12.95
Melaza de caña	10.00
Sal mineral *	1.60
Rastrojo de maíz	12.00

* Ca 27%, P 3%, K 0.25%, Se 20 ppm, Vit A 350,000 UI, Vit D 150,000 UI, Vit E 150 UI y Lasolacida 2,000 ppm

La alimentación se realizó a las 8:00, 12:00 y 16:00 h, procurando que en los comederos permaneciera 10% aproximadamente, del total ofrecido anterior. Se recolectó una muestra de cada materia prima utilizada en la alimentación.

Después del periodo de adaptación, al día 25 cada novillo recibió 3 g de óxido de cromo (Cr₂O₃) como dosis única. A partir de este momento se recolectó una muestra de excretas por animal, cada vez que defecaba, durante 33 h continuas; en cada muestra se registró la hora de excreción y el animal al que perteneció dicha muestra.

^a Fibrozvme / Alltech

Sacrificio y rendimientos de canal

Dada la situación comercial del rancho, el sacrificio se realizó en lotes de 6 o 7 novillos por semana, al sacrificar el primer lote (75 días de engorda), se registró el peso vivo de los 28 novillos, con el fin de calcular una ganancia de peso al mismo día, independientemente de la ganancia de cada animal al sacrificio.

Previo al sacrificio, los novillos tuvieron un ayuno de 12 horas, se registró el peso vivo de cada uno para e inmediatamente después se realizó la matanza bajo condiciones humanitarias dispuestas por el rastro municipal.

Después de la faena, las canales fueron transportadas bajo condiciones de higiene aceptables hacia la cámara de refrigeración de la propia empresa, se registró el peso de la canal caliente (10 min después), se almacenaron a 4 °C durante 24 h, y se registró el peso de la canal fría. Con estos datos, se calcularon los respectivos rendimientos.

Con la media canal izquierda de cada animal, se realizó la clasificación de conformación de la pierna de acuerdo con los criterios establecidos por la European Economic Community.⁵¹ Para determinar la cobertura de grasa subcutánea y el contenido de grasa perirrenal en la canal, junto con el área, grosor de la grasa y marmoleo en las chuletas de 2.5 cm de grosor (obtenidas entre la novena y doceava costillas), se emplearon los lineamientos marcados por el United States Department of Agriculture.⁵²

Una vez que se realizaron las anteriores determinaciones y recolecciones de las muestras respectivas se empaquetaron al vacío, permaneciendo 7 días bajo refrigeración y luego fueron congeladas.⁵²

Etapas 2

Dureza, color y composición química de la carne

En el taller de carnes del CEPIPSA de la Facultad de Veterinaria, UNAM (FMVZ-UNAM), las chuletas fueron analizadas con Warner-Bratzler⁵³ para determinar la fuerza de corte. En el laboratorio de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ-UNAM se determinó el contenido de humedad, proteína y grasa de acuerdo al AOAC⁵⁴(1990). Para determinar el color se utilizó un aparato Minolta CR 310, localizado en la Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad La Salle.

Digestibilidad *in vivo*

Con las muestras de forraje, concentrado y heces se determinó el contenido de FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa y lignina según Van Soest *et al.*²¹(1991), en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica (FMVZ-UNAM). Además se midió el contenido de energía bruta del alimento ofrecido, el rechazado y las heces, usando una bomba calorimétrica adiabática marca PARR, en el laboratorio de Ensayos Metabólicos en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Para determinar la digestibilidad *in vivo* de las fracciones de la fibra y la energía se utilizó la técnica de un marcador interno (lignina) con los valores obtenidos en el laboratorio (Gerken *et al.*⁵⁵, 1987; Keulen *et al.*⁵⁶, 1997; Church⁵⁷, 1988).

Determinación del consumo voluntario

El consumo de MS fue medido diariamente por tratamiento de manera global y se realizó un cálculo por medio de la fórmula propuesta por NRC,² (2000).

De manera paralela a la investigación se administró una sola dosis de Cr₂O₃ para determinar la posibilidad de calcular el consumo de MS por medio de esta nueva alternativa; para ello, la concentración de cromo de las muestras de heces recolectadas se midió por espectrofotometría de absorción atómica, previa digestión ácida de las heces.^{58,59} Con los valores de cromo se realizó una regresión cuadrática en función del tiempo de excreción; se consideró que el valor máximo representaba la concentración en estado de equilibrio y se usaron las ecuaciones correspondientes para calcular la producción de heces y después el consumo voluntario de acuerdo con Church.¹⁹

Etapas 3

Análisis estadístico

Se usó un diseño completamente aleatorizado de cuatro tratamientos con siete repeticiones cada uno. Los valores de las variables productivas y de digestibilidades se usaron para una prueba de regresión cuadrática,⁶⁰ en función de la dosis enzimática con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \chi_1 + \beta_{11} \chi_1^2 + \varepsilon$$

donde,

Y_i = variable dependiente

$\beta_{0,1,11}$ = coeficientes de regresión

χ_1 = variable independiente

ε = error del modelo

Los valores de evaluación de las canales fueron analizados mediante el análisis biliteral de la varianza por jerarquías de Friedman.⁶⁰

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Digestibilidad *in vivo*

La dieta administrada a los novillos tuvo un contenido energético y proteínico adecuado para una engorda comercial,² como se puede apreciar en el Cuadro 4. El cálculo de las digestibilidades se realizó con base a los resultados presentados en el Cuadro 5. Con las diferentes dosis de enzimas no se obtuvo diferencia ($p>0.05$) en la digestibilidad *in vivo* de la MS, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y energía (Cuadro 6) .

Cuadro 4.- Composición química (en base seca) de la dieta integral

Componente	Unidad de medición	Valor
Materia Seca	%	89.9
Proteína Cruda	%	12.2
Fibra detergente neutro	%	17.6
Fibra detergente ácido	%	6.20
Lignina	%	0.60
Celulosa	%	5.60
Hemicelulosa	%	11.4
Energía bruta	Mcal/kg	4.19

Un de los factor que pudo influir en este nulo efecto es el estado de madurez relativamente avanzada del el rastrojo de maíz (Lamed *et al.*,1987), con un contenido de 54.06% FDN, 34.58% FDA, 29.78% celulosa, 19.48% hemicelulosa y 4.76% lignina. Este contenido de lignina ocasiona que la unión celulosa-xiloglucano y cadenas pécticas se tornen muy estrechas y que aumente la sección hidrofóbica de la superficie celular, provocando que las enzimas fibrolíticas presentes en el rumen no pueden penetrar en este espacio.⁶¹ Así no hay suficiente adhesión entre los celulosomas bacterianos y la superficie de los carbohidratos estructurales de la fibra, limitando la liberación de las enzimas fibrolíticas bacterianas.⁶²

Weidmeier *et al.*⁶³(1987) establecieron que el extracto de algunos hongos incrementa la flora bacteriana celulolítica y la eficiencia fibrolítica ruminal hasta en 5%. El aumento en la digestibilidad no se observó en este trabajo debido quizá a

que los efectos benéficos existen solo durante las primeras etapas de la degradación de la fibra (primeras 12 h). Esto sugiere que el efecto fibrolítico se debe principalmente a la promoción de la colonización bacteriana y no al efecto de las enzimas exógenas por sí mismas.⁶⁴ Por esta razón es necesario un ambiente propicio para el crecimiento bacteriano, el cual pudo no existir en el presente estudio debido a diversos factores como un descenso en el pH, uso de grasas e ionóforos.

Cuadro 5.- Composición química (con base a la materia seca) de las heces (media y desviación estándar)

	Testigo	2 kg t ⁻¹	4 kg t ⁻¹	6 kg t ⁻¹
Fibra detergente neutro %	38.45 ^a ±5.9	41.19 ^a ±3.66	40.99 ^a ±4.68	43.85 ^a ±3.04
Fibra detergente ácido %	18.49 ^a ±2.31	17.62 ^a ±3.05	17.87 ^a ±2.35	19.66 ^a ±1.74
Lignina %	4.41 ^a ±0.85	4.12 ^a ±0.91	4.82 ^a ±1.47	4.16 ^a ±1.11
Celulosa %	14.2 ^a ±1.73	13.0 ^a ±2.96	12.9 ^a ±1.91	15.3 ^a ±2.11
Hemicelulosa %	19.9 ^a ±5.37	23.6 ^a ±3.44	23.1 ^a ±3.02	24.2 ^a ±2.81
Energía bruta Mcal kg ⁻¹	4.53 ^a ±0.15	4.71 ^a ±0.35	4.73 ^a ±0.27	4.49 ^a ±0.23

^{ab} Literales diferentes en una fila indican diferencia significativa (p<0.05).

El descenso en el pH fue originado por una producción excesiva de ácido²¹ debido a la fermentación de los almidones del maíz (60% de inclusión) y los carbohidratos solubles contenidos en la melaza (10% de inclusión). Un descenso en el pH puede afectar el consumo de MS, cambiar la tasa y extensión de la digestión y causa un efecto negativo marcado en el comportamiento de los animales.⁶⁵ Este impacto en la digestibilidad es evidente si se considera que las colonias bacterianas fibrolíticas disminuyen 14% h⁻¹ por cada 0.1 puntos de pH

por debajo del 6.5; si se rebasa el límite inferior de 6, este tipo de flora es inhibida en su crecimiento.⁶⁶

En esta investigación se utilizó sebo como materia prima y la inclusión de este ingrediente disminuye la digestibilidad 15 a 40%, al afectar la población de protozoarios.⁶⁷ Dentro de este estudio se utilizaron ionóforos, considerados como depresores de la digestibilidad de los forrajes al afectar directamente a ciertas poblaciones fibrolíticas.⁶⁸

Cuadro 6.- Digestibilidad *in vivo* de los componentes químicos (media y desviación estándar) en base seca de las dietas

	Testigo	2 kg t ⁻¹	4 kg t ⁻¹	6 kg t ⁻¹
Materia seca %	86.8 ^a ±2.8	85.9 ^a ±2.9	87.2 ^a ±4.4	85.5 ^a ±4.8
Fibra detergente neutro %	71.7 ^a ±5.0	67.1 ^a ±6.1	70.9 ^a ±8	63.8 ^a ±12.6
Fibra detergente ácido %	61.2 ^a ±7.2	60.5 ^a ±7.4	64.2 ^a ±9.5	59.9 ^a ±5.6
Celulosa %	66.8 ^a ±7.8	67.8 ^a ±7.5	70.8 ^a ±10.4	59.7 ^a ±18.5
Hemicelulosa %	77.5 ^a ±6.6	70.7 ^a ±7.5	74.5 ^a ±7.4	69.1 ^a ±10.9
Energía bruta Mcal/kg	85.7 ^a ±3.4	84.0 ^a ±4.1	85.8 ^a ±4.4	84.4 ^a ±5.4

^{ab} Literales diferentes en una fila indican diferencia significativa (p<0.05).

Considerando el descenso en pH, inclusión de sebo e ionóforos, las condiciones ruminales no fueron adecuadas para la digestibilidad de la FDN en el presente trabajo. Con este descenso las colonias bacterianas son afectadas, lo que reprime la existencia del sinergismo en la utilización de la fibra digestible del forraje, además del almidón.²³ En dietas como la utilizada en este trabajo, el uso de un amortiguador ayudaría a que el descenso del pH no afecte demasiado la actividad enzimática temprana.⁶⁹

Los resultados de este estudio coinciden con los reportados por Beauchemin *et al.*⁶(1999), Castro *et al.*⁷⁰(2001), Zinn *et al.*⁷¹(1999) y Lewis *et al.*⁹(1999) quienes no

encontraron diferencia en la digestibilidad al utilizar dietas altas en concentrado, por no tener control de todos los factores adversos al medio ruminal. Los nulos efectos en la digestión de la fibra probablemente se deban al bajo contenido de FDN (17.6%) y FDA (6.2%) de la dieta del presente estudio; al respecto, Krause *et al.*¹¹ (1998) reportan un incremento en la digestibilidad de las dietas altas en concentrado al incorporar paja de cebada aumentando el contenido de FDN (23%) y FDA (10.9%). Al utilizar enzimas fibrolíticas exógenas aumentó la digestibilidad de la FDA, con dietas altas en forraje.^{45,70} Además al incrementar el forraje de 17 a 30% con una cantidad enzimática idéntica, aumentó la digestibilidad en los componentes de la pared celular.^{2,73} Sin embargo, Beauchemin *et al.*⁴⁸ (1997) mencionaron que las enzimas fibrolíticas poseen alta especificidad de sustrato, ocasionando que diversos productos con idénticos niveles de enzimas pueden variar en la degradación de las paredes celulares; por tanto los productos comerciales no presentan resultados consistentes al utilizar diferentes sustratos.

Utilización de cromo para la determinación de consumo voluntario

Los resultados de cromo en las muestras de heces se usaron para determinar la producción fecal y el consumo de MS. Se consideró que el máximo valor en la regresión representa el punto de equilibrio (Cuadro 7); con este valor se calculó la producción de heces y consumo de MS (Cuadro 8). Con los datos que mostraron un comportamiento cuadrático se calcularon los consumos por lote (Cuadro 9), sin encontrar diferencia entre ellos. La inconsistencia en el patrón de excreción del cromo se debe a que este marcador externo es insoluble en agua y no se asocia con los componentes del bolo alimenticio, viaja en forma de suspensión que le permite formar un sedimento en el rumen-retículo y ser transferido de manera gradual a los intestinos, afectando su patrón de excreción.^{74,75}

En ensayos de pastoreo el cromo se ha administrado en cápsulas de gelatina una o dos veces al día, durante 7 d para lograr el estado de equilibrio ruminal; esta dosificación permite una determinación más exacta de la excreción fecal, aunque rara vez la cantidad del marcador administrada coincide con la cantidad

excretada.^{74,75} Debido a que incluso en estas condiciones, existe una falta de equilibrio total del marcador en el ambiente ruminal.²⁷ La falta de equilibrio ocasiona valores de referencia inconsistentes en el cálculo de la producción de excretas y por tanto del consumo de MS en esta investigación.

Cuadro 7.- Salida del programa "SPSS 13.0 for windows", para regresión cuadrática, en la medición de cromo, de un solo novillo

RESUMEN DEL MODELO

R	R ²	R ² Ajustada	E.E. del estimador
.962	.925	.874	36.338

ANOVA

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrada	F	Sig.
Regression	48616.692	2	24308.346	18.409	.021
Residual	3961.308	3	1320.436		
Total	52578.000	5			

COEFICIENTES

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Std. Error	Beta	T	Sig.
VAR00007	51.867	9.061	4.869	5.724	.011
VAR00007 ** 2	-1.330	.253	-4.465	-5.249	.013
(Constant)	-186.000	67.921		-2.738	.071

Cuadro 8.-.- Determinación de la producción fecal (PF), consumo de materia seca (CMS) y su porcentaje respecto al peso vivo (PV), de un solo novillo, utilizando los valores de la regresión cuadrática

Tiempo post-administración (h)	Cromo en heces (ppm)	PF calculada (kg MS/día)	CMS calculado (kg MS/día)	% CMS respecto al PV
5	-148.6	-1.38	-10.46	-2.87
11	34.9	5.89	44.60	12.25
16	114.6	1.79	13.56	3.72
24	103.9	1.97	14.96	4.11
26	74.7	2.75	20.83	5.72
24	103.9	1.97	14.96	4.11
26	74.7	2.75	20.83	5.72
19.50*	130.9	1.57	11.88	3.26

*Valor máximo calculado

Cuadro 9.- Determinación del consumo de materia seca (kg d^{-1}) usando cromo, fórmula según NRC y el observado global

	Testigo	2 kg/ton	4 kg/ton	6 kg/ton
Consumo calculado con cromo	13.3 ^a ±4.5	6.37 ^a ±0.9	12.1 ^a ±4.4	14.1 ^a ±3.5
% respecto al peso vivo	3.6	1.7	3.5	4.0
Consumo observado ¹	10.7	10.1	10.9	11.7
% respecto al peso vivo	3.0	2.8	3.1	3.3
Consumo calculado por fórmula ²	8.85	8.68	9.03	8.88
% respecto al peso vivo	2.10	2.00	2.20	2.10

^{ab} Literales diferentes en una fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

¹ Media del consumo en grupo

² Según NRC, (2000)

Rendimientos y características de la canal

Los promedios de ganancia diaria de peso, rendimientos de canal fría y caliente, contenido de grasa perirrenal, conformación de pierna y cobertura grasa no fueron diferentes ($p>0.05$) (Cuadro 10), estos resultados son coherentes dado que no hubo diferencia ($p>0.05$) en la digestibilidad de las paredes celulares.

Los resultados de esta investigación no son muy distintos a los presentados por Boss *et al.*⁷⁶ (1996) quienes reportan ganancias de peso de 1.6 kg día⁻¹, rendimientos del 57% en canal caliente y contenido de grasa perirrenal de 2% al usar maíz como ingrediente principal. Schoonmaker *et al.*⁷⁷(2004) obtuvieron resultados muy similares a los de la presente investigación respecto a rendimientos de canal, ganancia de peso, marmoleo, dureza de corte y cobertura grasa al probar diferentes niveles y fuentes de energía; sin embargo dichos autores encontraron una cantidad menor de grasa en la chuleta (4.7%). Además los resultados del presente estudio fueron muy similares a los encontrados por Traxler *et al.*⁷⁸(1995) quienes utilizaron una dieta similar en contenido de ionóforos y de forraje .

Los resultados en rendimiento y características de la chuleta (Cuadro 11) coinciden con los encontrados por Cerdeño *et al.*⁷⁹ (2006), excepto en el contenido de grasa cruda dado que ellos presentaron valores de 5,2%.

Los resultados de la clasificación de marmoleo y medición de color sobre las chuletas recolectadas se indican en el Cuadro 11. En el cuadro 12 están los resultados que complementan la información acerca de las chuletas, esto es grosor, dureza al corte, área y composición química (materia seca, proteína cruda y extracto etéreo).

El tipo de fibra, la calidad y cantidad son determinantes porque de ello depende el tipo de fermentación y metabolitos ruminales generados. Así cualquier cambio en la fermentación ruminal afectará las características de la canal.⁸⁰ La simple presencia de compuestos secundarios, como los taninos, favorece la síntesis de diversos compuestos volátiles que influirían en la composición grasa.⁸¹ Estas características explican en parte los resultados encontrados en este trabajo, dado

que no hubo diferencias en digestibilidad de la dieta y en el comportamiento de los novillos ($p>0.05$).

Cuadro 10.- Ganancia diaria de peso, rendimientos en canal, contenido de grasa perirrenal, (media y desviación estándar) clasificación de conformación de pierna y cobertura grasa (frecuencias)

	Testigo	2 kg/ton	4 kg/ton	6 kg/ton
Ganancia diaria de peso kg	1.60 ^a ± 0.3	1.37 ^a ± 0.22	1.53 ^a ± 0.27	1.51 ^a ± 0.2
Rendimiento en canal caliente %	57.9 ^a ± 2.6	60.7 ^a ± 1.4	61.8 ^a ± 6	60.5 ^a ± 3.8
Rendimiento en canal fría %	56.2 ^a ± 2.7	58.7 ^a ± 1.8	58.3 ^a ± 6.6	60.4 ^a ± 6.2
Grasa perirrenal %	2.3 ^a ± 0.4	2.5 ^a ± 0.9	2.3 ^a ± 0.3	2.7 ^a ± 0.9
Conformación de pierna ¹	E			
	U		2	1
	R	6	3	3
	O	1	3	2
	P		1	
Conformación de cobertura grasa ²	1			
	2	1	1	2
	3	3	1	2
	4	3	2	3
	5		3	

^{ab} Literales diferentes en una fila indican diferencia significativa ($p<0.05$).

¹ EEC, 1991

² USDA, 1996

Las dietas basadas en cantidades elevadas de concentrados, producen cantidades altas de ácidos grasos de cadena larga en la carne, lo cual disminuye con la alimentación a base de forrajes, es decir, con un gran contenido de paredes celulares. La suavidad de la carne se debe a (entre otros factores) a la lisis proteínica, un cambio en el contenido de proteína o energía en la dieta, generaría cambios directos en la suavidad de la carne.⁸² Este efecto explicaría por qué en la

presente investigación no hubo diferencias en la canal, dado que se usó una sola dieta.

La alimentación intensiva tiene un efecto beneficioso en las propiedades sensoriales de la carne; un consumo alto en energía repercute directamente en la dureza de la carne al propiciar una síntesis rápida de proteína y, por consiguiente, una elevación en el contenido de colágeno termolábil.^{79,83} El color no es una excepción en las características de la carne determinadas por el tipo de dieta, dado que es el resultado de una mezcla entre la proteína y la grasa contenida en la carne; este color es una característica principal que responde a la dieta en un periodo máximo de 90 d.⁸⁴

Cuadro 11.- Clasificación del marmoleo (frecuencias) y espectro de color (media y desviación estándar) en las chuletas

	Testigo	2 kg t ⁻¹	4 kg t ⁻¹	6 kg t ⁻¹
	Nada 90	3		2
	SI 00 1		1	
	SI 0 4	2	2	3
	SI 10	1		
Marmoleo ¹	SI 20 1		2	1
	SI 40		1	
	SI 50			1
	Sm 0 1			
	Sm 80	1	1	
L (brillo) ²	40.9 ^a ±2.9	40.9 ^a ±2.4	40.6 ^a ±4.6	38.5 ^a ±3.6
A (rojo) ²	22.7 ^a ±1.5	23.0 ^a ±1.4	21.7 ^a ±2	21.5 ^a ±2.3
B (amarillo) ²	10.4 ^a ±1.7	9.6 ^a ±0.8	11.0 ^a ±5.2	8.0 ^a ±2.0

^{ab} Literales diferentes en una fila indican diferencia significativa (p<0.05).

¹ USDA, 1996

² Medición con aparato Minolta CR 310

Cuadro 12.- Grosor de la grasa, dureza al corte, proteína cruda y grasa cruda respecto a la materia seca y humedad en chuletas (media y desviación estándar)

	Testigo	2 kg/ton	4 kg/ton	6 kg/ton
Grosor de Grasa, cm	0.57 ^a ±0.37	0.25 ^a ±0.16	0.30 ^a ±0.13	0.29 ^a ±0.17
Dureza al corte, kg/cm ²	5.27 ^a ±1.61	5.31 ^a ±1.54	4.99 ^a ±0.72	4.67 ^a ±1.31
Área pulgadas ²	9.8 ^a ±1.8	9.5 ^a ±3	10.6 ^a ±2.3	10.1 ^a ±2.6
Humedad %	73.2 ^a ±3.1	71.3 ^a ±1.9	73.9 ^a ±3.0	73.5 ^a ±4.9
Proteína cruda %	79.8 ^a ±2	78.3 ^a ±2.6	78.5 ^a ±4.2	77.8 ^a ±2.3
Grasa cruda %	10.1 ^a ±3.1	12.0 ^a ±1.8	11.1 ^a ±2	8.3 ^a ±0.6

^{ab} Literales diferentes en una fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Niveles crecientes de enzimas fibrolíticas exógenas (0, 2, 4 y 6 kilogramos t⁻¹ de alimento) no influyeron en las variables productivas, digestibilidad de FND, FDA, hemicelulosa, celulosa y energía bruta, ni en las características y rendimientos de canal en novillos alimentados con una dieta que contenía 88% de concentrado y 12% de rastrojo de maíz.

Es recomendable que al utilizar productos enzimáticos fibrolíticos, se considere la utilización de dietas con niveles de FDN superiores a 20% para lograr resultados positivos.

Respecto a la determinación del consumo de materia seca por medio de cromo, se requiere del desarrollo de metodologías más sencillas.

REFERENCIAS

1. Jung HG. 1997. Analysis of forage fiber and cell walls in ruminant nutrition. *J.Nutr.* 127: 810-813.
2. National Research Council. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th. Ed National Academic Press .Washington, DC. USA. 234 p.
3. Zinn RA and Salinas J. 1999. Influence of Fibrozyme on digestive function and growth performance of feedlot steers fed a 78% concentrate growing diet. *In: Biotechnology in the feed industry 15th annual symposium.* Nottingham University Press. UK. pp 313-319.
4. Yang W Z, Beauchemin KA and Rode LM. 1999. Effects of an enzyme feed additive on extent of digestion and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:391-403.
5. Feng PC, Hunt W and Julien W. 1992. Effect of enzyme additives on *in situ* and *in vitro* degradations of mature cool-season grass forage. *J. Anim. Sci.* 74: 1349-1357.
6. Beauchemin, K. A., W. Z. Yang and L. M. Rode. 1999. Effects of grain source and enzyme additive on site and extent of nutrient digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:378-390.
7. Lewis GE, Hunt CW and Sanchez WK. 1996. Effect of direct fibrolytic enzymes on the digestive characteristics of a forage –based diet fed to beef steers. *J. Anim. Sci.* 74:3020-3028.
8. Mc AllisterTA, Oosting SJ and Popp JD. 1999. Effect of exogenous enzymes on digestibility of barley silage and growth performance of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 353-360.
9. Lewis GE, Sánchez CW and Hunt MA. 1999. Effect of direct-fed fibrolytic enzymes on the lactational performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:611-617.
10. Beauchemin KA, Jones SDM and Rode LM. 1997. Effects of fibrolytic enzymes in corn or barley diets on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 77:645-653.
11. Krause M, Bauchemin KA and Rode LM. 1998. Fibrolytic enzyme treatment of barley grain and source of forage in high-grain diets fed to growing cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2912-2920.
12. Gallardo NJ. 2006. Apoyos del gobierno a la ganadería de carne. *In: Memorias del 1er congreso de rentabilidad de la ganadería de carne.* Querétaro, México. (CD-ROM)
13. Chazaro MO. 2006. La ganadería de carne en México y el mercado mundial. *In: Memorias del 1er congreso de rentabilidad de la ganadería de carne.* Querétaro, México. (CD-ROM)
14. INEGI. 2005. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/continuas/economicas/exterior/2005/Anuario.pdf
15. Pomareda C y Vargas H. 1997. Investigación en sistemas de producción pecuaria: 10 Años de experiencia en México y Centroamérica. Ed. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. Costa Rica. 200 p.

16. Cantu MC. 2006. El mercado del ganado de carne en pie y su futuro. *In*: Memorias del 1er congreso de rentabilidad de la ganadería de carne. Querétaro, México. (CD-ROM)
17. Chauvet M. 1994. Auge, crisis y reestructuración de la ganadería bovina de carne en México. Tesis Doctoral. UNAM. México. 216 p .
18. Chauvet M. 1996. La crisis de la ganadería de engorda en el campo frente al nuevo milenio. Tomo I Ed UNAM-UAM-INAH y Plaza y Valdes. pp 409-432.
19. Church DC. 1993. El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición. 1ª. Ed Acribia. Zaragoza. España. 625 p.
20. Van Soest PJ. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Ed. Corvallis O & B, Ithaca, NY. USA. 374 p.
21. Van Soest PJ, Robertson JB and Lewis BA. 1991. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implications in dairy cattle . J. Dairy Sci. 74: 3586-3597.
22. Baldwin RL, Allison MJ. 1983. Rumen metabolism. J.Anim.Sci. 57:461-477.
23. Ortega CME. 1987. Factores que afectan la digestibilidad del alimento en rumiantes. Estudio recapitulativo. Rev. Vet. Mex. 18:55-60.
24. Galyean ML and Defoor PJ. 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. J. Anim. Sci. 81:8-16.
25. Pitt RE, Van Kessel JS and Fox DG. 1996. Prediction of ruminal volatile fatty acids and pH within the net carbohydrate and protein system. J. Anim. Sci. 74:226-244.
26. Sumano LH. 1996. Farmacología clínica en bovinos. Ed. Trillas. México. 652 p.
27. Fahey GC and Jung G. 1983. Lignin as a marker in digestion studies. A review. J. Anim. Sci. 57:220-232.
28. Kotb AR and Luckey TD. 1972. Markers in nutrition. Nutrition abstracts and reviews. 42:813-845.
29. Thonney ML, Plhof BA and De Carlo MR. 1985. Sources of variation of dry matter digestibility measured by the acid insoluble ash marker. J. Dairy Sci. 68:661-672.
30. Forsberg CW, Crosby B and Thomas DV. 1986. Potential for manipulation of the rumen fermentation through use of recombinant DNA techniques . J. Anim. Sci. 63: 310-318.
31. Cole S. 2004. Las enzimas se han convertido en insumos básicos para el alimento balanceado. Feed. Tech. 8:20-24.
32. Wyatt LC and Graham H. 1996. Enzymes to the rescue. Feed. Mgmt. 47:18-22.
33. Krause DO, Denman SE and Mackie. 2003. Opportunities to improve fiber degradation in the rumen: microbiology, ecology and genomics. Fems Micro. Rev. 27: 663-693.
34. Mackie R and White B. 1990. Recent advances in ruminal microbial ecology and metabolism: potential impact on nutrient output. J. Dairy Sci. 73: 2971-2995.
35. Romans JR, Costello W and Carlson W. 2000. The meat we eat. 14a. Ed. Prentice Hall. INC. USA. 1128 p.

36. Owen RF. Química de los alimentos. 1993. Ed Acribia. Zaragoza, España. 1095 p.
37. Monson F, Sañudo C and Sierra I. 2004. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Sci.* 68: 595–602.
38. Boles JA and Swan JE. 2002. Processing and sensory characteristics of cooked roast beef: effect of breed, age, gender and storage conditions. *Meat. Sci.* 62: 419-427.
39. Vestergaard M, Therkildsen M and Henckel P. 2000. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and the relationship between muscle fibre characteristics, fibre fragmentation and meat tenderness. *Meat Sci.* 54:187-195.
40. Jeremiah LE, Gibson LL and Aalhus M. 2003. Assessment of palatability attributes of the major beef muscles. •*Meat. Sci.* 65:949-958.
41. Belew JB, Brooks JC and McKenna DR. 2003. Warner Bratzler shear evaluation of 40 bovine muscles. *Meat Sci.* 64: 507–512.
42. Campo M, Sañudo C and Panea B. 1999. Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. *Meat. Sci.* 51:383-390.
43. Boyles DW, Richardson CR and Robinson KD. 1992. Feedlot performance of steers fed steam-flaked grain sorghum with added enzymes. *Anim. Sci. Can.* 43: 502-505.
44. Lewis GE, Sanchez WK and Pritchard GT. 1995. Effect of direct-fed fibrolytic enzymes on lactation performance of mild lactation Holstein cows. *In: Proc. West Sect. Am. Soc. Anim. Sci. i Can.* 46: 310-313.
45. Gomez-Vazquez A, Perez J y Mendoza MG. 2003. Fibrolytic exogenous enzymes improve performance in steers fed sugar cane and stargrass. *J. Anim. Sci.* 82:249-254.
46. Chen KH, Hubert JT and Simas J. 1995. Effect of enzyme treatment or steam-flaking of sorghum grain on location and digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:1721-1727.
47. Chen KH, Huber JT and Simas J. 1996. Effect of enzyme treatment or steam flaking of sorghum grain on location and digestion in dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 74:1349-1357.
48. Beauchemin KA, RodeLM and Sewalt VJH. 1995. Fibrolytic enzymes increase fiber digestibility and growth rate of steers fed dry forages. *Can. J. Anim. Sci.* 75:641-644.
49. Cano AL, Aranda IE y Mendoza MG. 2003. Comportamiento de toretes en pastos tropicales suplementados con caña de azúcar y enzimas fibrolíticas. *Tec. Pec. Méx.* 41: 153-164.
50. Denis O, Stuart E and Roderick I. 2003. Opportunities to improve fiber degradation in the rumen: microbiology, ecology, and genomics. *FEMS Mic. Revs.* 27: 663-693.
51. EEC. 1991. European Economic Community. Community scale for classification of adults bovine animals. Regulation (EEC) No. 1208/81, 293081 and 1026/91. Office for Official publications of the European Communities.

52. USDA. 1996. United States of Agriculture. United States Standards for Grades of Carcass Beef. United States Department of Agriculture. USA.
53. AMSA. 1995. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. Chicago, IL: American Meat Science Association & National Livestock and Meat Board.
54. AOAC. 1990. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 15th. Ed Helrick K. Arlington, USA. 1230 p.
55. Gerken CM, Calzadilla D y González R. 1987. Aplicación de la técnica de dos marcadores para medir consumo de pasto y la digestibilidad de la ración de vacas en pastoreo suplementadas con concentrado. *Pastos y Forrajes*. 10:266-273.
56. Keulen JV and Young BA. 1997. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminal digestibility studies. *J. Anim. Sci.* 44:282-287.
57. Church DC. 1988. The ruminant animal digestive physiology and nutrition. Ed. Prentice Hall. New Jersey. USA. 564 p.
58. Fenton TW and Fenton M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.* 59:631-634.
59. Williams CH, David DJ and Lisma O. 1962. The determination of chromic oxide in feces samples by atomic spectrophotometry. *J. Agric. Sci.* 59:381-382.
60. Daniel WW. 1989. Bioestadística. Ed Limusa-Noriega. México. 755 p.
61. Chesson A. 1993. Feed enzymes. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 45:65-79.
62. Beguin P, Millet J and Aubert J. 1992. Cellulose degradation by clostridium thermocellum: from manure to molecular biology. *FEMS Microbiol. Lett.* 100:523-528.
63. Weidmeier R, Aramberl M and Walters J. 1987. Effect of yeast culture and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on ruminal characteristics and nutrient digestibility. *J. Dairy Sci.* 70:2063-271.
64. Varel VH and Kreikemeier KK. 1993. In vitro stimulation of forage fiber degradation by ruminal microorganisms with *Aspergillus oryzae* fermentation extract. *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 3171-3180.
65. Lycos T, Varga G and Casper D. 1997. Varyng degradation rates of total nonstructural carbohydrates: Effects on ruminal fermentation, blood metabolites, and milk production and composition in high producing Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80: 3341-3355.
66. Russell JB and Wilson DB. 1996. Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH?. *J. Dairy Sci.* 79:1503-1509.
67. Zinn RA and Plascencia A. 1996. Effects of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 74:1194-1201.
68. Zinn RA and Borques J. 1993. Influence of sodium bicarbonate and monensin on utilization of a fat-supplemented high-energy growing-finishing diet by feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 71:10-25.
69. Dawson KA and Tricarico JM. 1999. The use of exogenous fibrolytic enzymes in ruminants. In: *Biotechnology in the Feed Industry*. Proc. of the

- 15th Annual Symposium Nottingham University Press, Nottingham, UK. pp. 303-312.
70. Castro CH, Vázquez MS y Sánchez AF. 2001. Enzimas fibrolíticas exógenas. Efectos sobre la eficiencia microbiana y la digestión del nitrógeno en dietas de bovinos. *In: Memorias del XXV Congreso Nacional De Buiatría. Veracruz, México*(CD-ROM).
 71. Zinn RA and Salinas J. 1999. Influence of Fibrozyme on digestive function and growth performance of feedlot steers fed a 78% concentrate growing diet. *In: Biotechnology in the feed industry 15th annual symposium. Nottingham University Press. UK. pp 313-319.*
 72. Zo Bell DR, Weidmeier RD and Olson KC. 2000. The effect of an exogenous enzyme treatment on production and carcass characteristics of growing and finishing steers. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 87:279-285.
 73. Mc Allister TA, Oosting SJ and Popp JD. 1999. Effect of exogenous enzymes on digestibility of barley silage and growth performance of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 353-360.
 74. Owens FN and Hanson CF. 1992. Symposium external and internal markers. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *J. Dairy Sci.* 75:2605-2617.
 75. Doyle PT, Casson and Cransberg J. 1994. Faecal output of grazing sheep measured by total collection or using chromium sesquioxide. *Small Rum. Res.* 13: 231-236.
 76. Boss DL and Bowman JG. 1996. Barley varieties for finishing steers: Feedlot performance, in vivo diet digestion, and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 74:1967-1972.
 77. Schoonmaker JP, Cecava MJ and Fluharty FL. 2004. Effect of source and amount of energy and rate of growth in the growing phase on performance and carcass characteristics of early- and normal-weaned steers. *J. Anim. Sci.* 82:273-282.
 78. Traxler DG, Fox TC and Perry RL. 1995. Influence of roughage and grain processing in high-concentrate diets on the performance of long-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 73:1888-1900.
 79. Cerdeño A, Vieira C and Serrano P. 2006. Effects of feeding strategy during a short finishing period on performance, carcass and meat quality in previously-grazed young bulls. *Meat. Sci.* 72:719-726.
 80. Vasta V and Priolo A. 2006. Ruminant fat volatiles as affected by diet. A review. *Meat Sci.* 73:218-228.
 81. Young OA, Lane GA and Priolo A. 2003. Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, lucerne or maize. *J. Sci. Food and Agric.* 83:93-104.
 82. Hansen S, Therkildsen M and Byrne D. 2006. Effects of a compensatory growth strategy on sensory and physical properties of meat from young bulls. *Meat Science.* 74: 628-643.
 83. Marino R, Albenzio M and Girolami A. 2006. Effect of forage to concentrate ratio on growth performance, and on carcass and meat quality of Podolian young bulls. *Meat Sci.* 72: 415-424.

84. Dunna PG, O'Mara FP and Moloney AP. 2006. Changes in colour characteristics and pigmentation of subcutaneous adipose tissue and M. longissimus dorsi of heifers fed grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Sci.* 74: 231-241.