

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES DE CUATITLAN

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA SALUD Y PRODUCCION ANIMAL

**INTERACCIÓN DE LOS NIVELES DE MAGNESIO Y GRASAS EN LA DIETA  
SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL METABOLISMO DIGESTIVO Y LA  
RESPUESTA PRODUCTIVA DE NOVILLOS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR

P R E S E N T A

Jacinto Efrén Ramírez Bribiesca.

ASESOR

Richard A. Zinn.

TUTORES

Juan de Dios Garza Flores

Carlos García Bojalil

Ricardo Barcena Gama

Carlos Vasquez Pélaez

Jorge Tórtora Pérez.

Irma Tejada de Hernández.

Cuatitlán Izcalli, México 2000.



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.

INTERACCIÓN DE LOS NIVELES DE MAGNESIO Y GRASAS EN LA DIETA  
SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL METABOLISMO DIGESTIVO Y LA  
RESPUESTA PRODUCTIVA DE NOVILLOS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN.

AUTOR:  
Ramírez Bribiesca J. Efrén

COMITE EVALUADOR:  
Zinn, Richard.  
Tórtora Pérez Jorge.  
Tejada de Hernández Irma.  
Barcena Gama J. Ricardo.  
Vásquez Peláez Carlos.  
García Bojalil Carlos.  
Garza Flores Juan de Dios.

Estudio de doctorado realizado entre el programa de intercambio académico del Doctorado en Producción y Salud Animal, FES-C, UNAM y la Universidad de California, Davis, USA.

## ÍNDICE GENERAL

1. Resumen . . . . .	1
Abstract. . . . .	2
2. Introducción . . . . .	3
3. Marco teórico.	
3.1 Fuentes disponibles y valor energético de las grasas .	4
3.2 Factores que afectan el valor energético de la grasa .	5
3.2.1 Nivel del consumo sobre la digestibilidad. . . .	5
3.2.2 Digestión de la fibra. . . . .	9
3.2.3 Gustocidad . . . . .	9
3.2.4 Minerales y vitaminas asociados con la grasa . .	9
3.2.5 Calidad de las grasas. . . . .	11
3.2.6 Métodos de suplementación. . . . .	11
3.2.7 Uso inadecuado de las grasas . . . . .	12
3.3 Importancia del magnesio y otros minerales asociados .	12
3.3.1 Funciones del calcio y magnesio. . . . .	12
3.3.2 Requerimientos de magnesio . . . . .	13
3.3.3 Factores de la dieta que afectan la absorción de magnesio. . . . .	15
3.3.4 Metabolismo del magnesio . . . . .	16
3.3.5 Excreción de magnesio. . . . .	17
3.3.6 Fuentes de suplementación del magnesio . . . . .	19
3.3.7 Características físico-químicas del magnesio . .	20
4. Justificación. . . . .	21
5. Hipótesis. . . . .	22
6. Objetivos. . . . .	22
7. Material y métodos	
7.1 Lugar de trabajo . . . . .	23
7.2 Prueba de metabolismo. . . . .	23
7.2.1 Variables de trabajo . . . . .	23
7.2.1.1 Animales y dieta . . . . .	23
7.2.1.2 Consumo de alimento. . . . .	27

7.2.1.3 Muestreo de líquido ruminal y aislación de microorganismos . . . . .	27
7.2.1.4 Muestreo de contenido duodenal y fecal .	28
7.2.1.5 Cuantificación de protozoarios . . . . .	29
7.2.1.6 Muestreo de orina. . . . .	29
7.2.1.7 Procedimientos analíticos y cálculos . .	29
7.2.2 Análisis estadístico. . . . .	30
7.3 Prueba de comportamiento . . . . .	32
7.3.1 Variables de trabajo . . . . .	32
7.3.1.1 Procedimiento de sorteo y distribución de las unidades experimentales . . . . .	32
7.3.1.2 Consumo de materia seca y ganancia peso.	33
7.3.1.3 Clasificación de las canales . . . . .	33
7.3.2 Análisis y modelo estadístico . . . . .	35
8. Resultados y discusión.	
8.1 Prueba de metabolismo. . . . .	36
8.2 Prueba de comportamiento . . . . .	56
9. Conclusiones . . . . .	61
10. Literatura citada. . . . .	62

## ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Características de las grasas . . . . .	7
Cuadro 2. Composición de los ácidos grasos de las grasas. . . . .	8
Cuadro 3. Fuentes de Mg usadas en la producción animal. . . . .	19
Cuadro 4. Ingredientes utilizados en las dietas experimentales en la prueba de metabolismo y comportamiento. . . . .	25
Cuadro 5. Composición nutritiva en las dietas experimentales Utilizadas en el metabolismo y comportamiento . . . . .	26
Cuadro 6. Análisis químico en las fuentes de grasas Suplementadas en la prueba 1 y 2. . . . .	45
Cuadro 7. Ingredientes consumidos en la prueba de metabolismo	46
Cuadro 8. Respuesta de la suplementación del nivel de Mg y grasas sobre el flujo de ingredientes hacia el Intestino y materia fecal . . . . .	47
Cuadro 9. Respuesta de la suplementación del magnesio y grasas sobre los porcentajes de digestibilidad. . . . .	48
Cuadro 10. Respuesta de la suplementación del nivel de magnesio y grasas sobre la energía digestible y el pH en novillos. . . . .	49
Cuadro 11. Respuesta de los niveles de magnesio y fuentes de grasa sobre el consumo de los ácidos grasos. . . . .	50
Cuadro 12. Respuesta de los niveles de magnesio y fuentes de grasas sobre el flujo al intestino y la excreción fecal de los ácidos grasos.consumo de los ácidos grasos. . . . .	51

Cuadro 13.	Respuesta de los niveles de magnesio y fuentes de grasas sobre el porcentaje de la digestión post-ruminal de los ácidos grasos.. . . . .	.52
Cuadro 14.	Respuesta de los niveles de magnesio y fuentes de grasas sobre el porcentaje de biohidrogenación. . . . .	.53
Cuadro 15.	Respuesta de los niveles de magnesio y fuentes de grasas sobre las concentraciones de Mg, Ca, pH, protozoarios, AGV y producción de metano en el líquido ruminal (Prueba de metabolismo) . . . . .	.54
Cuadro 16.	Respuesta promedio del nivel de magnesio y suplementación de grasas sobre la concentración de Mg y el pH en orina el porcentaje de biohidrogenación. . . . .	.55
Cuadro 17.	Respuesta de los niveles de magnesio y la suplementación de grasas sobre la respuesta productiva en novillos para engorda.. . . . .	.59
Cuadro 18.	Respuesta de los niveles de magnesio y fuentes de grasas sobre las características de la canal en novillos en engorda en corral. . . . .	.60

## 1. RESUMEN.

Se estudió el valor nutricional de 3 tipos de grasas suplementadas (sebo (S), grasa amarilla (GA) y grasa de trampa (GT)) al 4% BS con 2 niveles de Mg (.18 y .32% Mg). Los tratamientos fueron T1= control + .18 Mg, T2= S + .18 Mg, T3= GA + .18Mg, T4= GT + .18Mg, T5= control + .32Mg, T6= S + .32Mg, T7= GA + .32Mg y T8= GT + .32Mg. La prueba de metabolismo, se trabajó con 8 novillos canulados en rumen y duodeno: El consumo de agua (CA) disminuyó 8% ( $P < .1$ ) con la grasa, pero el MgO incrementó en 22% ( $P < .05$ ). Hubo interacción ( $P < .05$ ) entre la grasa y el CA. La suplementación de grasa disminuyó la digestibilidad ruminal de MO, 10% ( $P < .01$ ) y total, 3.5% ( $P < .01$ ). La grasa decreció ( $P < .01$ ) las digestibilidades de FDN en rumen y en tracto en 37 y 17%. El pasaje del N del alimento hacia el intestino delgado fue mayor en 8.8% ( $P < .05$ ) para el grupo de GA y GT vs S. La digestión postruminal y total de almidón decreció 1.4 y .4% ( $P < .1$ ) con la grasa. El MgO incrementó en 7.4% ( $P < .01$ ) el pH fecal. La digestión de Mg en el tracto total aumentó en 77.7% ( $P < .05$ ) con el MgO. La grasa disminuyó la absorción de Mg ruminal en 41.6% ( $P < .1$ ). La grasa incrementó el flujo de Ca al intestino delgado en 91% ( $P < .05$ ) y su excreción fecal en 161% ( $P < .01$ ) vs grupo control. La  $EN_g$ , en S, GA y GT fueron 3.58, 3.06 y 3.89 Mcal/kg. La biohidrogenación ruminal en C18:1 incrementó ( $P < .05$ ) con la grasa y en C18:2 y C18:3 incrementó en S vs GA y GT. La grasa incrementó en 14% ( $P < .01$ ) el propionato y decreció en 17.3% ( $P < .01$ ) la relación acetato:propionato. El metano se redució en 15% ( $P < .01$ ) con la grasa. Los protozoarios incrementaron en 12.7% ( $P < .05$ ) con el MgO y decreció en 12.9% ( $P < .05$ ) con la grasa. En la prueba de comportamiento, las ganancias de peso fueron similares ( $P > .10$ ) en los tratamientos. La GDP disminuyó (11%,  $P < .05$ ) para GT vs GA. La grasa disminuyó en 5% ( $P < .1$ ) el consumo de materia seca e incrementó en 7% ( $P < .05$ ) la conversión alimenticia. Hubó una interacción entre el nivel de grasa y Mg ( $P < .01$ ) sobre la  $EN$  dieta. El incremento de la  $EN_g$  con S y GA fue similar (8.6 vs 8%) para dietas con .18 y .32% Mg. En contraste el incremento de la  $EN_g$  para GT fue 8.9% con .18% de Mg, pero los valores de  $EN_g$  no incrementaron cuando la GT fue suplementada con .32% de Mg. El % de rendimiento disminuyó en 1.5% ( $P < .1$ ) y el grado de rendimiento incrementó en 2.2% ( $P < .05$ ) para GT vs GA. El incremento del nivel de Mg incrementó el PRC en 5.5% ( $P < .05$ ). Hubó una interacción Mg grasa ( $P < .1$ ) en el grado de marmoleo. Con dietas sin grasa, el incremento de Mg en la dieta disminuyó en 15.2% el grado de marmoleo, en contraste con dietas con grasa, el incremento de Mg incrementó en 7.2% el grado de marmoleo. Se concluye que la suplementación de grasa deprime la absorción de Mg. Por lo tanto la suplementación de Mg en los novillos sometidos a engordas intensivas debe de considerarse cuando se incorpore grasa a la dieta.

## 1. ABSTRACT.

A feeding trial involving 160 crossbred steers (357 kg), and a metabolism trial involving 8 Holstein steers (189 kg) cannulated in the rumen and proximal duodenum were conducted to evaluate the interaction of dietary Mg level (.18 vs .32%, DM basis) and supplemental fat [0% supplemental fat vs 4% tallow (T), yellow grease (YG), or griddle grease (GG)] on growth performance, NE value of the diet, and digestive function. There was a fat by Mg level interaction ( $P < .05$ ) on drinking water consumption. With T, dietary Mg level did not affect water consumption. However, with all other diets, increasing dietary Mg level increased (33%) water intake. Fat supplementation decreased ( $P < .01$ ) ruminal and total tract digestion of OM (10 and 3.5%, respectively) and NDF (37 and 17%, respectively). Passage of feed N to the small intestine was greater (8.8%,  $P < .05$ ) for YG and GG than for T supplemented diets. Postruminal and total tract digestion of N did not differ among ( $P > .10$ ) by dietary treatments. Fat supplementation increased (27.4%,  $P < .05$ ) flow of Mg to the small intestine and decreased (41.7%,  $P < .01$ ) total tract Mg digestion. Increasing dietary Mg level increased total tract Mg digestion (77.7%,  $P < .05$ ). Fat supplementation increased (14%,  $P < .01$ ) molar concentrations of propionate and decreased (17.3%,  $P < .01$ ) the acetate:propionate molar ratio. Total ruminal protozoal counts were increased (12.7%,  $P < .05$ ) by increasing dietary Mg level and decreased (12.9%,  $P < .05$ ) by fat supplementation. The depressing effect of supplemental fat on ruminal protozoal numbers was greater (12.8%,  $P < .10$ ) for YG than for T. Dietary Mg level did not influence ( $P > .10$ ) growth performance. Daily weight gain was lower (11%,  $P < .05$ ) for GG than for YG. Fat supplementation decreased (5%,  $P < .10$ ) DMI, and increased ( $P < .05$ ) gain efficiency (7%). There was a fat by Mg level interaction ( $P < .01$ ) on dietary NE. The increase in dietary NE<sub>g</sub> with T and YG supplementation was similar (8.6 vs 8.0%) for diets containing .18 and .32% Mg. In contrast, the increase in dietary NE<sub>g</sub> with GG supplementation was 8.9% with .18% dietary Mg, but the NE<sub>g</sub> value of the diet did not increase when GG was added to diets with .32% dietary Mg. Dressing percentage was lower (1.5%,  $P < .1$ ) and retail yield was greater (2.2%,  $P < .05$ ) for GG than for YG supplemented diets. Increasing dietary Mg level increased KPH (5.5%,  $P < .05$ ). There was a fat by Mg level interaction ( $P < .1$ ) on marbling score. With diets containing no supplemental fat, increasing dietary Mg decreased (15.2%) the marbling score. In contrast, with diets containing supplemental fat, increasing dietary Mg increased (7.2%) the marbling score. We conclude that supplemental fat depresses Mg absorption, and hence, adequate precautions should be taken to assure that dietary Mg allowances are adequate to meet specific growth performance requirements when diets are supplemented with fat.

## 2. INTRODUCCIÓN.

Los sistemas intensivos de engorda de bovinos productores de carne requieren de eficientizar el uso de dietas, que permitan lograr el mayor incremento en la ganancia de peso a menor tiempo y costo con mejor calidad del producto final. Por este motivo el uso de fuentes con alto contenido energético y de bajo costo resultan ser una alternativa, las grasas de origen animal y vegetal presentan una serie de ventajas en la formulación de raciones, pero se siguen buscando asociaciones con otros nutrimentos para eficientizar su valor energético. Zinn (1993a) en diferentes estudios utilizando la suplementación de grasa y su efecto sobre la proteína de sobrepaso, niveles de forraje, ionoforos y calcio no encontró interacciones. Sin embargo no existe información referente al efecto sobre el magnesio. Por lo que es importante identificar, si es que existe, la interacción o efecto asociativo entre la suplementación de magnesio y la grasa en la dieta.

La información sobre los requerimientos de magnesio para el ganado de engorda es limitada. Las estimaciones para bovinos en la etapa de crecimiento-finalización, se basa en las necesidades de los becerros lactantes (12-30 mg/Kg PV; NRC, 1984), y los datos actuales que recomienda la NRC (1996), son una copia de la publicación anterior. Por lo que los niveles de magnesio son bajos e inexactos de acuerdo a los hallazgos de Zinn et al. (1996), quienes observaron que el incremento de magnesio en la dieta con niveles de 30-50 mg/kg PV, mejoró la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia. Pero aún se desconoce si los requerimientos de magnesio se afectan con la suplementación de grasa en bovinos en finalización. Algunos resultados en ganado lechero indican que la absorción de magnesio se reduce cuando se adiciona grasa a la dieta (Kemp et al., 1966; Rahnema et al., 1994), por la formación y excreción de jabones de magnesio (Kemp et al., 1966); esto puede ser debido a la similitud que tiene el calcio con el magnesio, ambos minerales son cationes divalentes más comunes, actúan como

estabilizadores de las membranas biológicas, y son altamente solubles (McDowell et al., 1997; Fontenot et al., 1989).

En este trabajo se propone evaluar el valor alimenticio de 3 tipos de grasas: sebo (S), grasa amarilla convencional (GA; con menos del 15% de ácidos grasos libres (AGL)) y grasa amarilla alta en ácidos grasos libres (más de 15% de AGL) o también conocida como grasa de trampa (GT), con dos niveles de magnesio en la dieta, el nivel de calcio será igual para todos los tratamientos, así se podrá suponer que la formación de jabones se va a presentar en ambos minerales por una competencia mutua, y una cantidad mayor de magnesio en la dieta tendrá mejor capacidad de absorción o se mantenga adecuada, mejorando indirectamente el valor energético de las grasas. En este caso también resulta necesario señalar que la respuesta a la suplementación de grasas en bovinos en crecimiento-finalización puede ser muy variable. Brandt (1995) y Zinn (1986) consideran a la aceptabilidad y gustocidad como los factores más importantes en la suplementación de grasas, los cuales se asocian con la calidad del ingrediente, la naturaleza de la ración, el nivel de suplementación y el plan nutricional. En este trabajo se plantea la utilización de 4% de grasa en la ración, con base en investigaciones previas (Brandt, 1995; Zinn, 1993).

### 3. MARCO TEÓRICO.

#### 3.1 Fuentes disponibles y valor energético de las grasas.

Existen 3 tipos de grasas utilizadas en la alimentación animal: A) grasas de vacuno y porcino B) aceites vegetales: aceite de maíz (Brooks et al., 1954), aceite de soya, (MacLeod y Buchanan-Smith, 1972), aceite de semilla de girasol (Park et al., 1983) y C) Grasa amarilla convencional o grasa de trampa, que son residuos de frituras alimenticias obtenidos de restaurantes y cafeterías (Burton, 1989). En México las grasas de origen animal y vegetal, aparentemente se colectan para su uso en la alimentación animal.

estabilizadores de las membranas biológicas, y son altamente solubles (McDowell et al., 1997; Fontenot et al., 1989).

En este trabajo se propone evaluar el valor alimenticio de 3 tipos de grasas: sebo (S), grasa amarilla convencional (GA; con menos del 15% de ácidos grasos libres (AGL)) y grasa amarilla alta en ácidos grasos libres (más de 15% de AGL) o también conocida como grasa de trampa (GT), con dos niveles de magnesio en la dieta, el nivel de calcio será igual para todos los tratamientos, así se podrá suponer que la formación de jabones se va a presentar en ambos minerales por una competencia mutua, y una cantidad mayor de magnesio en la dieta tendrá mejor capacidad de absorción o se mantenga adecuada, mejorando indirectamente el valor energético de las grasas. En este caso también resulta necesario señalar que la respuesta a la suplementación de grasas en bovinos en crecimiento-finalización puede ser muy variable. Brandt (1995) y Zinn (1986) consideran a la aceptabilidad y gustocidad como los factores más importantes en la suplementación de grasas, los cuales se asocian con la calidad del ingrediente, la naturaleza de la ración, el nivel de suplementación y el plan nutricional. En este trabajo se plantea la utilización de 4% de grasa en la ración, con base en investigaciones previas (Brandt, 1995; Zinn, 1993).

### 3. MARCO TEÓRICO.

#### 3.1 Fuentes disponibles y valor energético de las grasas.

Existen 3 tipos de grasas utilizadas en la alimentación animal: A) grasas de vacuno y porcino B) aceites vegetales: aceite de maíz (Brooks et al., 1954), aceite de soya, (MacLeod y Buchanan-Smith, 1972), aceite de semilla de girasol (Park et al., 1983) y C) Grasa amarilla convencional o grasa de trampa, que son residuos de frituras alimenticias obtenidos de restaurantes y cafeterías (Burton, 1989). En México las grasas de origen animal y vegetal, aparentemente se colectan para su uso en la alimentación animal.

Con respecto al potencial energético de la grasas, Zinn (1988) considera que los valores de energía neta de la grasas suplementadas son considerablemente diferentes de acuerdo a la estimación teórica que reporta el NRC (1984 y 1996): Esto es, un gramo de grasa digerida contiene una densidad energética de 9 kcal EM/g. Asumiendo que la digestibilidad es del 80% y la eficiencia parcial de energía metabolizable (EM) usada para la ganancia de tejido es del 77%, entonces el valor de la energía neta de ganancia ( $EN_g$ ) de la grasa del alimento es de 5.54 Mcal/kg. Así que el valor teórico de la grasa en rumiantes fue más alto que el resultado de 4.63 Mcal/kg  $EN_g$ , obtenidos de la interacción con dietas experimentales. Por otro lado los valores de NRC para  $EN_m$  y  $EN_g$  (1984, 1996) de las grasas son de 4.75 y 3.51 Mcal/kg respectivamente. En las investigaciones referentes a la suplementación de grasa amarilla, como se citó, los valores hallados por Zinn (1988) para  $EN_m$  y  $EN_g$  fueron de 6.01 y 4.63 Mcal/kg y por Brandt y Anderson (1990) fueron de 4.69 y 3.76 Mcal/kg respectivamente. En este caso los resultados comparados con valores de NRC, fueron mayores para el primer autor y casi similares para el segundo. Las posibles diferencias se pueden atribuir al tipo de grano utilizado en la dieta basal, condiciones ambientales (temperatura) y características de la grasa.

### 3.2 Factores que afectan el valor energético de la grasas.

#### 3.2.1 Nivel del consumo sobre la digestibilidad.

Palmquist y Jenkins, (1980) han mostrado que la digestibilidad intestinal de la grasa puede alcanzar la mejor respuesta (80%), cuando se incluye a un nivel de 4% en la dieta y que arriba de este nivel (5 o 6% de grasa total en la dieta), la digestibilidad verdadera de la grasa declina hasta en un 56%. Por otro lado, Zinn (1993) reportó que las reducciones más dramáticas en su digestibilidad ocurren con niveles mayores del 8%. El efecto

detrimental observado con la suplementación de grasa se atribuye a una marcada reducción en el consumo del alimento, e incluso el consumo total de lípidos resulta mejor indicador de la digestibilidad postruminal de lípidos ( $R^2 = .95$ ) que el porcentaje de grasa suplementada. En general, la mayoría de los trabajos realizados con suplementación de grasa utilizan niveles de 3% a 5% de la ración en base a materia seca (Buchanan-Smith et al., 1974; Cuitun et al., 1975; Dinius et al., 1975; Hatch et al., 1972; Johnson and McClure, 1972; Lofgreen, 1965). Por su parte, Zinn (1993a), menciona que los efectos de variación en relación con el consumo de grasas no están claros, sugiriendo que quizás las diferencias no sean por la cantidad, sino más bien por la calidad de la grasa. En trabajos con bovinos en crecimiento-finalización no se ha observado una diferencia significativa entre grasa amarilla, sebo y jabones (Lofgreen, 1965; Brandt, 1988; Zinn, 1989a).

Por otro lado, las características de la fuente de grasa que pueden contribuir al valor alimenticio son la aceptabilidad, ácidos grasos totales (medida de pureza), proporción total de ácidos grasos totales y libres y el grado de insaturación (índice de yodo). Los Cuadros 1 y 2 muestran información detallada de las grasas. La diferencia entre las fuentes de grasa es la aceptabilidad, lo cual no ha sido claramente demostrada, Brandt (1988) condujo 2 pruebas involucrando varias fuentes de grasa suplementadas a 3.5% de la dieta base seca. En la primera prueba la suplementación con grasa amarilla resultó en tasa de ganancia de peso mayor y mejor conversión alimenticia que la suplementación con sebo, mientras que en la segunda prueba fue lo opuesto a la primera.

Cuadro 1. Características de las grasas.

Humedad %	Impureza %	Material insaponi- ficable %	Acidos grasos totales %	AGL %	Indice de yodo	referencias.
<b>grasa amarilla</b>						
.23	.07	1.24	94.4	7.7	--	Brandt y Anderson, 1990
.31	.1	2.45	92.4	12.2	--	
.54	.05	-	77.3	11.0	80.2	Oldick et al., 1997
.12	.1	.52	90.7	9.7	71.0	Zinn, 1989a
.5	.05	1.16	94.7	13.1	71.5	Zinn, 1993a
<b>Grasa de trampa</b>						
.63	3.0	.59	83.9	42.3	75.2	Plascencia et al. 1999.
<b>Sebo</b>						
--	.16	1.03	93.2	5.30	--	Brandt y Anderson, 1990
.25	.13	1.07	97.6	1.23	--	Clary et al. 1993
.21	.03	-	83.1	2.37	44.2	Oldick et al., 1997

Cuadro 2. Composición de ácidos grasos de las grasas (%).

	C14	C16	C16:1	C18	C18:1	C18:2	C18:3
<b>Grasa amarilla</b>							
Brandt y Anderson, 1990 (prueba 1)	1.6	19.5	2.8	11.3	46.2	15.2	1.1
Brandt y Anderson, 1990 (prueba 2)	1.9	21.7	3.6	12.6	45.8	11.4	.9
DePeters et al, 1987	2.4	18.0	4.2	12.0	46.8	12.8	2.9
DePeters et al, 1989	1.8	20.6	4.2	12.3	43.8	15.4	1.8
Zinn, 1989a	1.4	20.0	2.2	12.1	46.8	16.3	.4
Zinn, 1992	1.8	24.1	5.1	11.2	43.4	14.1	.1
Zinn y Plascencia 1993a.	1.9	24.3	3.3	12.5	41.6	15.5	.9
<b>Grasa de trampa</b>							
Plascencia et al. 1999.	1.9	16.6	2.0	9.6	49.3	14.3	1.1
<b>Sebo</b>							
Bock et al. 1991	1.9	22.2	1.7	11.1	28.0	24.8	2.3
Clary et al. 1993	3.2	27.3	1.9	19.0	45.5	.2	.4
Oldick et al. 1997	2.7	25.4	2.0	22.4	36.0	2.1	.4

### **3.2.2. Digestión de la fibra.**

La suplementación de forraje estimula la motilidad ruminal, salivación y estabiliza la actividad microbiana del rumen (Palmquist, 1992). Si se suplementa grasa en la dieta, la digestión de la fibra puede ser deprimida, Zinn (1986) menciona cuatro teorías básicas las cuales pueden explicar la interacción de la grasa con la fibra: 1) cubierta de las partículas de alimento, 2) cubierta de los microorganismos ruminales, 3) modificación en la población microbiana del rumen y 4) quelatos del calcio, causando una deficiencia de estos en rumen.

### **3.2.3 Gustocidad.**

La gustocidad de las grasas no se ha considerado como un factor que explique las depresiones de peso ocasionales en las engordas comerciales. Este efecto puede estar relacionado con el nivel de suplementación, la calidad de la grasa (Brandt, 1988) y el nivel de proteína en la dieta (Buchanan-Smith et al., 1974).

### **3.2.4 Minerales y vitaminas asociados con la grasa.**

Los macroelementos y las vitaminas que pueden interactuar con la grasa no han recibido mucha atención, a excepción del calcio, el cual en numerosas pruebas ha determinado incremento en la digestibilidad (usualmente de fibra) en dietas suplementadas con grasa (Grainger et al., 1961; Davison and Woods, 1963; Galbraith et al., 1971; Jenkins and Palmquist, 1982; Drackley et al., 1985). El beneficio de adicionar calcio parece estar relacionado en parte con la solubilidad de ácidos grasos no esterificados, el proceso de hidrólisis de ácidos grasos esterificados es rápido. Hawke y Silcock (1970), observaron que el 80% de los ácidos grasos esterificados pasaron a ácidos grasos no esterificados en 2 horas

de incubación en líquido ruminal. El calcio reaccionó con ácidos grasos no esterificados para formar jabones de calcio insolubles (Jenkins and Palmquist, 1982; Drackley et al., 1985; Palmquist et al., 1986). Bajos niveles de calcio en la dieta o baja solubilidad de calcio en el rumen pueden reducir la tasa y/o extensión de formación de jabones, incrementando la concentración ruminal de ácidos grasos no esterificados, por lo tanto, inicialmente se pensó que el calcio tenía efectos negativos en la suplementación de grasa sobre la digestión, lo que fue relacionado con las concentraciones ruminal de ácidos grasos libres (Grainger et al., 1961). Aunque las sales de calcio de ácidos grasos de cadena larga pueden ser no reactivas en el rumen (Jenkins and Palmquist, 1984), los ácidos grasos libres no esterificados tienen un marcado efecto inhibitorio en el crecimiento de las bacterias celulolíticas (Henderson, 1973; Maczulak et al., 1981). La suplementación de grasa puede influir en el crecimiento microbiano indirectamente por una depresión en las concentraciones de calcio libre ruminal al quedar en un nivel menor del óptimo necesario para el crecimiento de las bacterias celulolíticas. Palmquist et al. (1986), observaron que mientras la suplementación de grasa deprimía las concentraciones de calcio libre ruminal, la concentración promedio (.60mM) alcanzaba el nivel más alto que el considerado como óptimo para la actividad celulolítica (.25 mM, Bryant et al., 1959) y Bock et al. (1991) hallaron que el incremento del nivel de suplementación de calcio de 0.6 hasta 0.9 no influyó sobre las características de digestión ni en la ganancia de peso en bovinos de engorda alimentados con dietas con grasa.

La suplementación de grasa también podría interactuar con la digestión, absorción o metabolismo de las vitaminas liposolubles. La suplementación de grasa deprime el almacenamiento de vitamina A en el hígado (Esplin et al., 1963). En consecuencia una práctica de manejo en los bovinos en etapa de finalización es la suplementación de 30,000 a 40,000 UI de vitamina A diariamente, esto es, 1.5 a 2 veces más que la cantidad recomendada por la NRC (1984). Con respecto a la vit E, la suplementación de grasa no afectó los niveles de esta vitamina (Dinius et al. 1975). Sin embargo aún

existen muchos puntos oscuros, lo que hace necesario retomar esta línea de investigación.

### **3.2.5. Calidad de las grasas.**

La calidad de las grasas se puede medir por: a) Unidad y pureza de no saponificables. b) Ácidos grasos totales: La medida de calidad puede ser el total de ácidos grasos totales. Si es alto el contenido mejor es el valor. c) ácidos grasos libres: Niveles altos pueden ser el reflejo de almacenamiento inadecuado. d) índice de yodo (medida de saturación) y e) rancidez (grasa oxidada).

### **3.2.6. Metodos de suplementación.**

Una explicación de los efectos detrimentales de la suplementación de grasa sobre la digestibilidad de la dieta es el tamaño físico de las partículas del alimento, las cuales pueden acelerar ó retardar la digestión. Por otro lado se ha observado que la suplementación de grasa tiene poco o ningún efecto sobre la digestibilidad de componentes no fibrosos en la dieta (Robertson and Hawke, 1964), por lo que se ha propuesto que la aplicación directa de la grasa al grano o a la porción del concentrado de la dieta, podría mejorar el valor alimenticio, en comparación con la aplicación directa de la grasa en el forraje durante el último paso de la formulación, como se hace frecuentemente en la elaboración de dietas. Aunque hay estudios que no apoyan esta teoría (Brethour et al., 1957). Zinn (1993), mostró que el método de suplementación de grasa dió resultados similares cuando el nivel de suplementación de grasa fue menor del 6%, pero con el nivel de 9% de suplementación de grasa, adicionado directamente al heno se mostró una marcada reducción en la ganancia de peso y eficiencia de conversión.

### **3.2.7. Uso inadecuado de las grasas.**

Las fuentes de grasas deben de tener un control estricto de almacenamiento y de uso. Desgraciadamente en los países en desarrollo las normas de calidad no se aplican en la forma debida y la suplementación de grasa se realiza tomando como fundamento su precio y disponibilidad.

En general, el uso inadecuado de las grasas causa desordenes digestivos y un pobre comportamiento productivo. Lo más importante es que los animales esten adaptados a la grasa. Se puede iniciar con una suplementación del 2.5% durante 2 semanas, antes de iniciar la engorda o la prueba experimental.

### **3.3 Importancia del magnesio y otros minerales asociados.**

#### **3.3.1 Funciones del calcio y magnesio.**

El magnesio es uno de los cationes más divalentes a nivel intracelular, cofactor de muchas enzimas involucradas en la fosforilación oxidativa y en el metabolismo de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Cerca del 70% se almacena en el esqueleto, 25% en el músculo esquelético, 1% en el espacio extracelular (Greene et al., 1983a; Greene et al., 1983b). El magnesio extracelular es importante en los impulsos nerviosos y en la transmisión neuromuscular. Es un nutriente requerido en funciones primarias como cofactor, y compite con el calcio en procesos de uniones de excitación y secreción (Fontenot et al., 1989).

Esta claramente estudiada la formación de jabones de calcio con la suplementación de grasa en la dieta. Los ácidos grasos no esterificados (AGNE) reaccionan con el calcio y forman jabones insolubles en el rumen, se ha mostrado que cuando el calcio se incrementa en dietas con grasa la digestibilidad de la fibra,

también se incrementa (Jenkins y Palmquist, 1984). El requerimiento de calcio según la NRC (1984) es de 0.41%, por su parte Zinn (1993) menciona que estos niveles varían en bovinos para engorda alimentados con dietas altas en grasa (6%) y reportan que niveles de 0.7 a 0.9%, mejoran la producción de proteína microbiana y los niveles de N en rumen.

La diferencia entre el calcio y el magnesio se da en la capacidad de absorción. El mejor sitio de absorción del calcio es el intestino delgado, aunque algunas informaciones recientes citan que esta capacidad se podría dar también en el retículo-rumen, pero esto no ha sido comprobado (Yano et al., 1991). En el caso de magnesio el sitio primario de absorción es el rumen (Hurley et al., 1990), a través de un proceso de transporte activo que depende de la síntesis continua de ATP, usado por la Na/K ATPasa (Martens y Blume, 1986). El decremento en la capacidad de absorción de magnesio se puede inducir con dietas bajas en energía (Dua y Care, 1995) y con altos niveles en potasio (4.6% en la dieta), la cual incrementa la excreción fecal y disminuye la absorción de magnesio en 20-41% (Greene et al., 1983a; Greene et al., 1983b; Fontenot et al., 1989), mientras que el incremento de la absorción y retención de magnesio en rumiantes se puede dar con la administración de glucosa (Giduck et al., 1988) y de monensin (Greene et al., 1988; Grings y Males, 1988), sin presentarse diferencias con las concentraciones de magnesio en suero sanguíneo (McDowell et al., 1997). En todos estos trabajos los autores citan que el mecanismo principal está dado en los iones de Na y K que intervienen en Na/K ATPasa y la bomba Na/K, para facilitar o dificultar la absorción del magnesio.

### **3.3.2 Requerimientos de magnesio.**

La información sobre el requerimiento de magnesio en bovinos para producción de carne es limitada. Las estimaciones de la NRC (1984), solo se han basado en el requerimiento de becerros lactantes (12-30 mg/Kg PV). Los límites que se recomiendan son

bastante amplios en comparación con vacas lecheras en lactación de .20 a .25 (NRC, 1989) y en ovinos de .12 a .18 (NRC, 1985). Basándose en el nivel máximo (30 mg/kg), un novillo de 300 kg con un consumo diario de 9 kg requeriría solo 9 gramos de magnesio o .1% de la dieta. De manera que, el NRC (1984) considera .1% como el nivel óptimo. En realidad, es difícil formular una dieta que tenga menos del .1% de magnesio, por lo general, las dietas elaboradas para la engorda intensiva en corral sobrepasan el valor de .15% de Mg, con este planteamiento se podría suponer que en la mayoría de las ocasiones no sería necesario el suplementar magnesio. Los niveles mínimos para optimizar el crecimiento y la finalización de bovinos en engorda no han sido reportados por el NRC (1984, 1996).

Con respecto a los niveles máximos, el magnesio es uno de los minerales que puede alcanzar efectos tóxicos en becerros con niveles mayores de 2.4% en la dieta (Chester-Jones et al., 1990). Chester-Jones et al. (1989), evaluaron diferentes porcentajes de Mg en la dieta. Niveles mayores de 0.6 hasta 2.4% decrecieron linealmente la digestibilidad aparente de MS, FDA y PC. Estos autores sugieren el nivel de 0.5% de Mg en la dieta, como el límite máximo aceptable para rumiantes con un margen de seguridad bastante estrecho. Sin embargo, el NRC (1984, 1996) considera 0.4% de Mg en la dieta como el nivel máximo tolerable. Así, éste valor resulta incorrecto, y este punto de vista se fortalece con los resultados de Zinn et al. (1996), donde ellos observaron que el incremento de magnesio en la dieta de 0.18 a 0.32% (abajo de lo sugerido por el NRC), mejoró la ganancia de peso en 6%.

Actualmente es necesario precisar los porcentajes a utilizar. En un futuro no muy lejano se espera que las publicaciones del Consejo Nacional de Investigación (National Research Council) y de otros países sean más detalladas, especificando las necesidades de los minerales de acuerdo a los factores como a) la variación en la disponibilidad biológica, b) la variación del animal (especie, raza, edad, tasa de crecimiento o función zootécnica) y c) El sistema de producción.

### 3.3.3 Factores de la dieta que afectan la absorción de magnesio.

Diversos factores pueden modificar la absorción del magnesio en el tracto digestivo, tal es el caso de:

Potasio: Sí la cantidad de potasio en la dieta se incrementa de 0.6 a 4.9%, causa una disminución en absorción de Mg de 25 a 39% (Greene et al., 1983c; Greene et al., 1986). Un alto contenido de potasio inhibe la absorción de Mg e incrementa la excreción fecal. Experimentos *in vitro* con la técnica de lavado en rumen observaron que si la concentración intrarruminal de potasio incrementa de 30 a 110 mmol L<sup>-1</sup>, la concentración de sodio disminuye de 110 hasta 30 mmol L<sup>-1</sup> y en consecuencia la concentración de Mg de 2.5 mmol L<sup>-1</sup> disminuye la absorción en un 25% (Dua y Care, 1995). Las alteraciones asociadas a la disminución del Mg por el potasio son por: 1) El incremento en la concentración de potasio, 2) disminución en la concentración de sodio y 3) incremento en el potencial de diferencia (relación entre la presión de sangre y el contenido de líquido ruminal, el cual es normalmente de 30mV). La disminución en la excreción del Mg en orina es consecuencia del incremento del contenido de potasio en la dieta, en consecuencia es la disminución de la absorción de Mg en el tracto digestivo (Sell y Fontenot, 1980).

Sodio: Estudios *in vivo* e *in vitro* han demostrado que los cambios en la concentración de sodio en el líquido ruminal no influyen sobre la absorción de magnesio (Martens et al., 1987b). Más bien tiene un efecto indirecto. Un bajo consumo de sodio causa un incremento en la concentración de potasio en la saliva y el líquido ruminal (Martens et al., 1987b). Asimismo hay una disminución en la relación Na:K de la saliva como resultado del incremento en la secreción de aldosterona la cual podría reducir las relación Na:K del contenido del rumen como resultado de una alta ingestión de

potasio y en consecuencia la disminución en la tasa de absorción del Mg (Sell y Fontenot, 1980).

Calcio: El mejor sitio de absorción de calcio en rumiantes es el intestino delgado (Yano et al., 1991). Pero una mínima cantidad de calcio es necesaria en el funcionamiento del epitelio del rumen en los cambios electrofisiológicos (Dua y Care, 1995). Existe una interacción de absorción entre los iones de Ca y Mg. Care et al. (1989), observaron en ovinos una mejor absorción neta de calcio ( $110 \text{ mmol l}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) cuando la concentración de magnesio en rumen fue baja ( $0.45 \text{ mmol/l}$ ) y viceversa con comportamiento lineal, cuando la concentración de Mg en rumen fue mayor ( $8 \text{ mmol/l}$ ) la absorción neta de calcio decreció ( $19 \text{ mmol l}^{-1}\text{h}^{-1}$ ).

Fosfatos: El rumen es un órgano importante para la absorción de fosfatos (Care et al., 1989), se ha observado que si el animal presenta una concentración de fosfato en el rumen de  $2 \text{ mmol l}^{-1}$  (dieta deficiente en fósforo) y se incrementa a  $17 \text{ mmol l}^{-1}$  (rango normal) se mejora la absorción neta de magnesio y calcio en el rumen (Beardsworth et al., 1989).

AGV y pH: Los ácidos grasos volátiles proveen energía al sistema de transporte activo en la pared del rumen (Martens y Rayssiguier, 1980) e incrementan la absorción de magnesio (Dua y Care, 1995). La reducción de AGV causa un incremento en el pH, lo cual disminuye el magnesio soluble en el líquido ruminal (Johnson y Aubrey Jones, 1989) y la absorción de magnesio (Horn y Smith, 1978). Valores de pH de 6.2-7.2 con una concentración de amonio en rumen de  $40 \text{ mmol l}^{-1}$  disminuyen la absorción de magnesio (Axford et al., 1982).

#### **3.3.4 Metabolismo del magnesio.**

El Mg ocupa el .05% del contenido total del cuerpo del animal, cerca del 70% del magnesio en el cuerpo se encuentra en el

esqueleto y tejidos blandos y unicamente el 1% de Mg es hallado en líquidos extracelulares. El magnesio del esqueleto es importante para la integración de huesos y dientes. El magnesio en tejidos blandos es esencial para la actividad neuromuscular y es el activador de las enzimas involucradas en el metabolismo energético, especialmente en la fosforilación oxidativa. También actúa en las enzimas concernientes al metabolismo de grasas y proteínas (Sell y Fontenot, 1980).

La concentración de calcio en plasma determina los niveles circulantes de la hormona paratiroidea, dihidroxivitamina y calcitonina, así la respuesta hormonal a los cambios de Ca en sangre profundamente afecta el metabolismo de Mg como se muestra en la figura 1. La hormona paratiroidea puede afectar el metabolismo del Mg. La excreción de Mg está parcialmente controlado bajo el control de PTH. Una concentración elevada de PTH estimula la reabsorción mineral en hueso, en este proceso se secreta Mg y Ca en el líquido extracelular, la relación es de 43 iones de Ca secretado por cada ion de Mg secretado (Sell y Fontenot, 1980).

### **3.3.5 Excreción de Magnesio.**

La excreción fecal endógena de magnesio en rumiantes deriva de la secreción digestiva y de las células epiteliales del tracto digestivo. La excreción total fecal incluye el magnesio endógeno y el magnesio no absorbido de la dieta. El incremento de Mg en la dieta de 1 a 4.1 g/día en ovinos incrementó el magnesio en suero y heces fecales (Sell y Fontenot, 1980).

La excreción de Mg en orina está relacionado con el consumo y la absorción de Mg. Los ovinos con la más alta absorción neta de Mg en el tracto digestivo tuvieron los niveles más altos en suero y excreción en orina (Chicco et al., 1972). La excreción parece ser controlada por el mecanismo de filtración-reabsorción. Aparentemente el Mg es excretado en la orina únicamente cuando la cantidad de Mg es filtrado por los glomerulos de los riñones y esto ocurre cuando excede la cantidad reabsorbida por los tubulos del



### 3.3.6 Fuentes de suplementación del magnesio.

El Cuadro 3 muestra las fuentes de magnesio más comunes que se utilizan en la suplementación de este mineral. El óxido de magnesio ha sido la mejor fuente de Mg usada en la producción ganadera. Entre las mismas fuentes el grado alimenticio de los productos no son iguales en características químicas y físicas. Estos varían en origen (mineral crudo, u otras preparaciones químicas las cuales han sido calcinadas o quemadas, brine, seawater, pureza química), contenido de magnesio, tamaño de la partícula, aceptabilidad por los animales y disponibilidad (Beede, 1992). Las magnesitas calcinadas a temperaturas de 800 °C hasta 1100 °C resultaron con mayor disponibilidad de en MgO para ovinos, comparada con el calcinado a 650 °C o menos. El calcinado a 1300 °C, por 3 h también redujo la disponibilidad (Beede, 1992).

**Cuadro 3. Fuentes de magnesio usadas en la producción animal.**

Fuente	% del elemento en el compuesto	Disponibilidad biológica
Carbonato de magnesio	21 - 28	alta
Carbonato de Ca y Mg	9 - 10	baja
Cloruro de magnesio	12	alta
Óxido de magnesio	54 - 60	alta
Hidróxido de magnesio	34	alta
Sulfato de magnesio	9.8 - 17	alta
Sulfato de potasio y magnesio	11	alta

Datos adaptados de Beede, (1992); McDowell et al., (1997) y Montaña y Zinn, (1997).

### 3.3.7 Características físico-químicas del magnesio.

#### Tamaño de la partícula.

El tamaño de la partícula de la fuente de Mg también afecta la disponibilidad del elemento. Wilson (1981) separando el MgO en varios tamaños de partículas, observó que la disponibilidad se incrementó cuando el tamaño de partícula fue menor. Este mismo investigador también usó bolsas de nylon dentro del rumen (tamaño del poro 24um o 43um) y halló una correlación positiva significativa (.57,  $P < .005$ ) entre disponibilidad y solubilidad después de 48 h de incubación.

#### Reactividad

La reactividad química del MgO ha sido el método para caracterizar las fuentes de MgO en varios laboratorios. La reactividad química y/o solubilidad estuvieron pobremente correlacionados con estimaciones de disponibilidad. Por ejemplo, el MgO español con una pobre tasa relativa de reactividad en .4 N de ácido cítrico por 30 minutos, tuvo una disponibilidad superior cuando se comparó con el MgO de Grecia, China y el de Norteamérica, con altas tasas de reactividad menores de 30 minutos, pero que tuvieron bajas disponibilidades. Otra técnica es la de intercambio ión, que no demostró ninguna relación entre la disponibilidad del magnesio en los rumiantes. Estos resultados sugieren que las reactividades químicas de las fuentes de MgO en el laboratorio, tienen poco uso en relación a estimar la solubilidad y la absorción potencial del magnesio en el tracto digestivo del rumiante (Beede, 1992).

#### Solubilidad

La solubilidad del magnesio puede variar dependiendo del origen y/o la fuente de suplementación. Ciertamente la solubilidad del magnesio no es igual a su disponibilidad, pero si el magnesio

de una fuente específica de suplementación no es solubilizado en la fase líquida del tracto digestivo, no se podrá absorber (Beede, 1992).

Beede et al. (1992) hallaron que el carbonato, el cloruro, los fosfatos y el óxido fueron mejor utilizados que el sulfato, el citrato y el silicato. Stewart y Moodie (1956), observaron que el magnesio como nitrato fue más efectivo que el sulfato y el acetato en vacas, mientras que el magnesio en forma de magnesita fué totalmente indisponible (Chico et al., 1973).

#### 4. JUSTIFICACION.

En los estados del norte y centro de la República Mexicana y el sur de los Estados Unidos se ha incrementado el uso de la grasa para la engorda de bovinos. Su utilización se debe al alto valor calórico de las grasas que puede ser usado para proporcionar la energía necesaria en animales altamente productivos y al bajo precio de algunas grasas de origen animal o vegetal, que las hace interesantes en la formulación de dietas. Específicamente las grasas más utilizadas actualmente son el sebo y la grasa amarilla. La industria que comercializa estas grasas mantiene reglas de calidad. Así la grasa amarilla o grasa de restaurante se puede clasificar en grasa amarilla convencional (menos del 15% de AGL) y la grasa amarilla no convencional (más del 15% de AGL) o también conocida en terminología inglesa como "Griddle grease" o grasa de trampa. La obtención de ésta última es a través del proceso intermedio que se sigue para obtener la convencional y que prácticamente es un desecho. Sin embargo, una investigación previa demostró que este tipo de grasa no presenta limitantes para ser usada en la alimentación animal. Por lo tanto resulta interesante evaluar simultáneamente el valor alimenticio de estos 3 tipos de grasa, y dado que existe poca información científica del magnesio asociada a la suplementación de grasa para novillos en crecimiento-finalización, se plantea la siguiente hipótesis:

de una fuente específica de suplementación no es solubilizado en la fase líquida del tracto digestivo, no se podrá absorber (Beede, 1992).

Beede et al. (1992) hallaron que el carbonato, el cloruro, los fosfatos y el óxido fueron mejor utilizados que el sulfato, el citrato y el silicato. Stewart y Moodie (1956), observaron que el magnesio como nitrato fue más efectivo que el sulfato y el acetato en vacas, mientras que el magnesio en forma de magnesita fué totalmente indisponible (Chico et al., 1973).

#### 4. JUSTIFICACION.

En los estados del norte y centro de la República Mexicana y el sur de los Estados Unidos se ha incrementado el uso de la grasa para la engorda de bovinos. Su utilización se debe al alto valor calórico de las grasas que puede ser usado para proporcionar la energía necesaria en animales altamente productivos y al bajo precio de algunas grasas de origen animal o vegetal, que las hace interesantes en la formulación de dietas. Específicamente las grasas más utilizadas actualmente son el sebo y la grasa amarilla. La industria que comercializa estas grasas mantiene reglas de calidad. Así la grasa amarilla o grasa de restaurante se puede clasificar en grasa amarilla convencional (menos del 15% de AGL) y la grasa amarilla no convencional (más del 15% de AGL) o también conocida en terminología inglesa como "Griddle grease" o grasa de trampa. La obtención de ésta última es a través del proceso intermedio que se sigue para obtener la convencional y que prácticamente es un desecho. Sin embargo, una investigación previa demostró que este tipo de grasa no presenta limitantes para ser usada en la alimentación animal. Por lo tanto resulta interesante evaluar simultáneamente el valor alimenticio de estos 3 tipos de grasa, y dado que existe poca información científica del magnesio asociada a la suplementación de grasa para novillos en crecimiento-finalización, se plantea la siguiente hipótesis:

## 5. HIPÓTESIS.

La suplementación de sebo, grasa amarilla o grasa de trampa no afectan el metabolismo digestivo de los rumiantes. Asimismo, el incremento de (.18 a .32% Mg) del nivel de magnesio suplementado a dietas con 4% de grasa mejora las características de la digestión en el rumen y la respuesta productiva en novillos en crecimiento-finalización.

## 6. OBJETIVOS.

### GENERAL:

Comparar el valor alimenticio de la suplementación con 3 fuentes de grasa (S, GA, GT) y evaluar su posible interacción con el aporte de magnesio, sobre las características de la función digestiva y la respuesta productiva.

### ESPECIFICOS:

1) Evaluar la digestibilidad de los ácidos grasos y otros nutrimentos en tres fuentes de grasa, S, GA y GT al 4% de MS en la dietas y el posible efecto aditivo o la interacción con el magnesio en los niveles de 0.18 y 0.32%, sobre la digestión de los nutrientes.

2) Evaluar la respuesta de tres fuentes de grasa suplementada, 4% MS y el posible efecto aditivo o la interacción con el magnesio (0.18 vs 0.32%), en la ganancia de peso, el consumo de alimento, la conversión alimenticia y ganancia de energía.

3) Evaluar la respuesta de tres fuentes de grasa suplementada, 4% MS y el posible efecto aditivo o la interacción de magnesio (0.18 vs 0.32%), sobre la calidad y característica de la canal.

## **5. HIPÓTESIS.**

La suplementación de sebo, grasa amarilla o grasa de trampa no afectan el metabolismo digestivo de los rumiantes. Asimismo, el incremento de (.18 a .32% Mg) del nivel de magnesio suplementado a dietas con 4% de grasa mejora las características de la digestión en el rumen y la respuesta productiva en novillos en crecimiento-finalización.

## **6. OBJETIVOS.**

### **GENERAL:**

Comparar el valor alimenticio de la suplementación con 3 fuentes de grasa (S, GA, GT) y evaluar su posible interacción con el aporte de magnesio, sobre las características de la función digestiva y la respuesta productiva.

### **ESPECIFICOS:**

1) Evaluar la digestibilidad de los ácidos grasos y otros nutrimentos en tres fuentes de grasa, S, GA y GT al 4% de MS en la dietas y el posible efecto aditivo o la interacción con el magnesio en los niveles de 0.18 y 0.32%, sobre la digestión de los nutrientes.

2) Evaluar la respuesta de tres fuentes de grasa suplementada, 4% MS y el posible efecto aditivo o la interacción con el magnesio (0.18 vs 0.32%), en la ganancia de peso, el consumo de alimento, la conversión alimenticia y ganancia de energía.

3) Evaluar la respuesta de tres fuentes de grasa suplementada, 4% MS y el posible efecto aditivo o la interacción de magnesio (0.18 vs 0.32%), sobre la calidad y característica de la canal.

## **7. MATERIAL Y METODOS.**

### **7.1 Lugar de trabajo.**

La presente investigación se realizó en el centro de investigación del "Institute for Desert Agriculture" perteneciente a la Universidad de Davis, California. Dicho centro se encuentra ubicado en el desierto del valle Imperial, el Centro, California, a 20 m bajo el nivel del mar (Dunn, 1988).

### **7.2 Prueba de metabolismo.**

Ocho animales se pesaron y se distribuyeron al azar en un diseño en Cuadro Latino duplicado. El primer Cuadro Latino (4x4) se planteó con los tratamientos control, sebo, grasa amarilla y grasa de trampa, las dietas usadas no se suplementaron con MgO (Cuadro 4: tratamientos 1 a 4 con .18% Mg dieta). En el segundo Cuadro Latino (4x4), se utilizaron las mismas dietas suplementadas con MgO (Cuadro 4: tratamientos 5 a 8 con .32% de Mg en la dieta).

#### **7.2.1 Variables de trabajo.**

##### **7.2.1.1 Animales y dieta**

Los becerros que se seleccionaron para la prueba de metabolismo fueron similares en peso y edad, con buen estado físico y temperamento no agresivo para facilitar su manejo. Ocho días antes de las cirugías los animales se manejaron 2 veces al día dentro de las unidades metabólicas. Se elaboraron las canulas de rumen (tubo de plástico industrial de 3 cm. de diámetro) y de

duodeno (tubo tygon-R3603 de 2 cm de diámetro). Diez días después de la cirugía o un día antes de iniciar el experimento los animales se pesaron, desparasitaron, se verificó el flujo de líquido duodenal a través de las cánulas y se implantaron con Synovex-S (Syntex Corp., Des Moines, IA). Durante el experimento, los animales se mantuvieron en una unidad metabólica cerrada, con una temperatura ambiental controlada de 17.2 °C y luz artificial durante todo el día.

El proceso de elaboración de las dietas inició cuando el grano de maíz fue incluido en féculas con procesamiento a vapor (30 lb/25.4 Kg). La mezcla de los ingredientes se realizó con la secuencia siguiente: Grano, forraje, fuente proteíca, melaza, premezcla (incluido urea, fuentes minerales, cromo y MgO en su caso) y grasa. El tiempo requerido para el mezclado de la dieta fue de aproximadamente 20'. Posteriormente la dieta preparada se depositó en una caja de madera con capacidad para 450 kg.; en el momento del vaciado se obtuvo una muestra representativa de ésta para la determinación de materia seca y otros análisis que se realizaran.

**Cuadro 4. Ingredientes utilizados en las dietas experimentales en la prueba de metabolismo y comportamiento<sup>a</sup>.**

Fuente	T r a t a m i e n t o s							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingredientes, % (Base seca)								
Alfalfa heno	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Sudangrass heno	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Grano de Maíz	76.90	72.90	72.90	72.90	76.68	72.68	72.68	72.68
Sebo	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00
Grasa amarilla	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00
Grasa de trampa	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	4.00
Melaza	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Piedra caliza	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Urea	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Mezcla mineral <sup>b</sup>	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Oxido de Magnesio <sup>c</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.22	0.22	0.22

<sup>a</sup>Oxido de cromo (.40%) fué adicionado a la dieta como marcador, en la prueba de metabolismo.

<sup>b</sup>La mezcla mineral contiene: CoSO<sub>4</sub>, .068%; CuSO<sub>4</sub>, 1.04%; FeSO<sub>4</sub>, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO<sub>4</sub>, 1.07%; KI, .052%; y NaCl, 92.96%.

<sup>c</sup>Premier Services Corp., King of Prussia, PA.

Cuadro 5. Composición nutritiva en las dietas experimentales utilizadas en la prueba de metabolismo y comportamiento.

Fuente	T r a t a m i e n t o s							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Composición calculada (Base seca)								
EN, Mcal/kg <sup>a</sup>								
Mantenimiento	2.11	2.26	2.26	2.26	2.11	2.25	2.25	2.25
Ganancia	1.46	1.58	1.58	1.58	1.53	1.58	1.58	1.58
Proteína cruda, %	12.79	12.41	12.41	12.41	12.77	12.39	12.39	12.39
FDN, %	13.77	13.41	13.41	13.41	13.75	13.39	13.39	13.39
Calcio, %	.71	.73	.73	.73	.72	.74	.74	.74
Fosforo, %	.28	.27	.27	.27	.28	.27	.27	.27
Magnesio, %	.18	.18	.18	.18	.32	.32	.32	.32
Azufre, %	.16	.16	.16	.16	.16	.16	.16	.16

<sup>a</sup>Valor individual de los ingredientes, basado en los valores tabulares según NRC (1984) con excepción de la grasa suplementada a la cual se le asignaran los valores de EN<sub>m</sub> y EN<sub>g</sub> de 6.03 y 4.79, respectivamente.

### **7.2.1.2 Consumo de alimento.**

Previo al experimento se calculó el consumo de materia seca con base en el 2% del peso vivo (menos el 4% del llenado del rumen) promedio de los animales. Posteriormente este alimento fue proporcionado dos veces al día (6 am. y 18 pm.), considerando que no hubo rechazos. Para la prueba de metabolismo se elaboró una dieta basal, y al momento de proporcionarla se le agregó la cantidad de maíz, grasa u óxido de magnesio correspondiente (Cuadro 4) para cada tratamiento. Este manejo se realizó con el propósito de disminuir en lo posible la variación entre los tratamientos. El consumo de agua fue libre, se proporcionó en botes de plástico de 20 litros y se registró el consumo de agua individual diariamente, durante los 4 días de muestreo en cada período experimental.

El cálculo de materia seca se realizó al inicio de cada período experimental, obteniendo varias submuestras de las cajas de almacenamiento del alimento.

### **7.2.1.3 Muestreo de líquido ruminal y aislamiento de microorganismos.**

La obtención del pH en el líquido ruminal se realizó durante los 4 días de muestreo, distribuyendo las horas postprandial a las 2, 4, 6 y 8 horas después de proporcionar el alimento. El procedimiento consistió en coleccionar 250 ml de líquido ruminal directamente de la canula con un tubo de plástico introducido en diferentes sitios del rumen y una jeringa de 50 ml. para la succión, la muestra se depositó en un vaso de precipitado y se determinó el pH a la temperatura del líquido ruminal. Posteriormente la muestra se dividió en dos submuestras, la primera se filtró a través de una gasa y a 40 ml del contenido ruminal se

le adicionaron 10 ml de ácido metafosfórico ( $\text{HPO}_3$ ; dilución 1:25), la segunda submuestra se conservó en congelación en una bolsa de plástico hasta el análisis de calcio y magnesio.

Para el aislamiento de microorganismos, después de la última colección de muestras en el tercer periodo del experimento se colectaron 500 ml de líquido ruminal de cada animal. Las muestras se mezclaron, se filtraron a través de gasa y se diluyeron con solución salina al .1 N. Posteriormente fueron centrifugadas a 2750 rpm a  $10^\circ\text{C}$  durante 10 minutos. El sobrenadante fue separado y nuevamente fue centrifugado a 13,500 rpm durante 20 minutos a la misma temperatura. A continuación el sedimento fue colectado y se depositó en una caja de Petri para su secado a una temperatura de  $100^\circ\text{C}$  dentro de un horno de aire forzado.

#### 7.2.1.4 Muestreo de contenido duodenal y fecal.

Se colectaron 750 ml. de líquido duodenal y 200 g aproximadamente de materia fecal. Estas muestras se conservaron en congelación hasta su procesamiento. Para obtener una muestra representativa se mezclaron las muestras de cada animal y se determinó el pH duodenal a la compuesta, el pH fecal fue determinado en una dilución (1g/10ml) de materia fecal y agua deionizada. Los compuestos de líquido duodenal se depositaron en un refractario y se secaron por 48 horas a una temperatura de  $100^\circ\text{C}$ , las muestras compuestas de materias fecales se pesaron (aproximadamente 250 g.) y secaron a la misma temperatura. Posteriormente se calculó la materia seca. Las muestras se molieron y conservaron en frascos de 100 ml para los análisis posteriores. El ciclo de colección de las muestras duodenales y fecales fue cada 1.5 horas posprandial durante 4 días de muestreo. Las horas quedaron distribuidas de la siguiente manera: día 1: 8:30 y 14:30; día 2: 7:00 y 13:00; día 3: 5:30 y 11:30; día 4: 4:00 y 10:00.

#### 7.2.1.5 Cuantificación de protozoarios.

La toma de muestra se realizó cuando se colectaron las muestras de líquido ruminal, siguiendo el mismo orden de las horas postprandial. Un mililitro de líquido ruminal se diluyó con NaCl (1:10) y unas gotas de formol. Se realizó el conteo de protozoarios con una cámara para hematología (Neubauer), cada cuadro tiene un milímetro cuadrado y una profundidad de 0.1 mm).

#### 7.2.1.6 Muestreo de orina.

La colección de orina se realizó con una bolsa de plástico, directamente hacia el animal. Esta toma de muestra se realizó durante los 4 días de cada período de muestreo, durante las 2, 4, 6 y 8 horas postprandial. A cada muestra se le midió el pH inmediatamente a la obtención y se conservaron a -3 °C hasta el análisis del contenido de magnesio.

#### 7.2.1.7 Procedimientos analíticos y cálculos.

Las muestras fueron procesadas con las siguientes técnicas establecidas en el laboratorio del centro de investigación: Materia seca (MS) (105 °C); cenizas (600 °C) , Nitrogeno total (N), N amoniacal (AOAC, 1975); purinas (Zinn y Owens, 1986); ácidos grasos (AG) (Sukhhija y Palmquist, 1988); concentraciones de acidos grasos volatiles (AGV) en líquido ruminal por cromatografía de gases (Zinn, 1988); calcio y magnesio, por espectofotometría de absorción atómica (AOAC, 1975); determinación de óxido de cromo (Hill y Anderson, 1958); fibra detergente neutro (FDN) (Weizhong y Udén, 1998) y almidón (Zinn, 1990).

La materia orgánica microbiana (MOM) y el nitrógeno microbiano (NM) que llegan al abomaso fueron calculados usando purinas como marcador microbiano (Zinn y Owens, 1986). La materia orgánica fermentada en el rumen (MOF) fue considerada igual al consumo de materia orgánica (MO) menos la diferencia entre la cantidad de MO total que llega al duodeno y la MOM que alcanza duodeno. El N del alimento que escapa hasta intestino delgado fue considerado igual al N total que llega al abomaso menos el N amoniacal y esto incluye alguna contribución endógena. La producción de metano fue calculada con base en el balance de fermentación teórica de la distribución molar observada de AGV y MO fermentada en el rumen (Wolin, 1960). El porcentaje de biohidrogenación se calculó de acuerdo a las siguiente fórmula propuesta por Wu et al. (1991) y Aldrich et al. (1995):

Porcentaje de biohidrogenación del total ó de un ácido graso insaturado específico =  $100 - 100 \left[ \frac{\text{el total ó ácido graso específico insaturado que llega a duodeno}}{\text{total de ácidos grasos insaturados en la digesta duodenal}} \div \frac{\text{el total o el ácido graso específico insaturado consumido}}{\text{total de ácidos grasos insaturados consumidos}} \right]$ .

### 7.2.2 Análisis y Modelo estadístico.

La información del consumo de alimento, agua y los resultados químicos de las raciones, muestras duodenales y muestras fecales fueron ordenadas en una hoja de cálculo. Posteriormente se estimaron los valores de digestibilidad de acuerdo a los niveles de cromo. Los resultados del conteo de protozoarios se transformaron a logaritmo natural, debido a la alta variación entre los animales y tratamientos.

Los datos fueron analizados con un diseño experimental en parcelas divididas incluido en dos cuadros latinos 4 x 4.

La parcela mayor fue considerada los niveles de Mg y las subparcelas los tratamientos de grasas. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_{j(i)} + E_c + T_k + B_i \times T_k + e_{ijk}$$

donde:

$Y_{ijk}$  = Variables de respuesta de la función digestiva en el k-ésimo tratamiento del j-ésimo animal del i-ésimo bloque con y sin la suplementación de magnesio.

$\mu$  = Media poblacional

$B_i$  = Efecto bloque.

$A_{j(i)}$  = Efecto animal dentro de bloque.

$E_c$  = Error de corrección.

$T_k$  = Efecto tratamiento.

$B_i \times T_k$  = Efecto interacción bloque tratamiento.

$e_{ijk}$  = Error experimental.

Las diferencias significativas en el análisis estadístico de la prueba de ANOVA fue a través de contrastes: Se consideró el efecto grasa, efecto magnesio, interacción magnesio x tratamiento, S vs GA, GT y GA vs GT.

### 7.3 Prueba de Comportamiento.

#### 7.3.1 Variables de trabajo.

##### 7.3.1.1 Procedimiento de sorteo y distribución de las unidades experimentales.

Se utilizaron 160 novillos añejos (357 Kg peso inicial) y se asignaron por peso en 32 corrales (5 novillos/corral). Cada corral tiene una superficie de 43m<sup>2</sup> con 22 m<sup>2</sup> de sombra, con piso de tierra, comederos y bebedero automático compartido. La prueba inicio el 13 de Marzo de 1998 y durante todo el período de la prueba la temperatura mínima y máxima fue de 17.5 y 34.1 °C respectivamente. No se presentó precipitación pluvial. La humedad relativa fue de 44%.

Al inicio de la prueba, así como en el día 56, los novillos fueron implantados con Sinovex-S<sup>1</sup> (Syntex Corp., Des Moines, IA). Las dietas se prepararon semanalmente y se depositaron en contenedores de madera, situados en frente de cada corral. El experimento tuvo una duración de 119 días, durante este tiempo se registró el consumo de alimento semanalmente.

Las estimaciones de los novillos se basaron en el promedio de los corrales, asumiendo que la determinación primaria es la ganancia de energía en la ganancia de peso. La ganancia de energía se calculó con la siguiente ecuación  $GE = (0.0557 PV^{.75}) g^{1.097}$ , donde GE es la ganancia diaria depositada en Mcal/d, g = ganancia de peso (Kg/d) y PV es el peso promedio del animal (Kg; NRC, 1984). La energía de mantenimiento (EM Mcal/d) se calculó con la siguiente ecuación  $EM=0.077 W^{.75}$  (Garret, 1971). El consumo de materia seca (CMS) fue referido a los requerimientos de energía y a la ENm de

acuerdo a la siguiente ecuación  $CMS = (EM/ENm) + (EG/ENG)$ , donde:  
 $ENG = 0.877 ENm - 0.41$  (NRC, 1984). Los valores de EN de las dietas para mantenimiento y ganancia fueron obtenidas por medias de la fórmula cuadrática  $(x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c})$  donde  $a = -.877CMS$ ,  $b = .877EM + .41CMS + GE$ , y  $c = -.41EM$  y  $ENG = .877ENm - .41$ .

#### 7.3.1.2 Consumo de materia seca y ganancia de peso.

El consumo de materia seca se estimó semanalmente de acuerdo a la preparación del alimento. Se tomó una muestra que fue secada en un horno de aire forzado a temperatura de  $100^{\circ}C$  durante 48 horas. Todas las muestras fueron mezcladas al final del experimento y se obtuvo una muestra representativa para su análisis en el laboratorio.

Con respecto a la ganancia diaria de peso, los animales se pesaron cada 28 días, durante la mañana (6 a 8 am.) y antes de proporcionarles alimento.

#### 7.3.1.3 Clasificación de las canales.

Los pesos de la canal caliente se registraron al momento de la matanza. Después de que se enfriaron por 48 horas se realizaron las siguientes mediciones de acuerdo con las normas de la USDA (1965) y AMSA (1990):

- a) Area del músculo longissimus (ribeye u ojo de la costilla), tomada directamente por lectura de la reticula, del área del músculo longissimus entre la 12a y 13a costilla.
- b) Grasa subcutánea sobre el músculo del ojo de la costilla, medida  $3/4$  de longitud lateral desde la 12a costilla hasta la terminación de los huesos del espinazo a la altura del sacro (ajustado

subjetivamente para una distribución inusual de grasa).

c) Grado de rendimiento.

$$\begin{aligned} \text{grado rendimiento} &= 2.50 + (2.50 \times \text{grosor grasa, pulgadas}) \\ &+ (0.20 \times \text{porcentaje de grasa RPC}) \\ &+ (0.0038 \times \text{peso canal caliente, libras}) \\ &- (0.32 \times \text{ojo costilla, pulgadas cuadradas}) \end{aligned}$$

d) Habilidad de corte =  $56.0 - (\text{grado rendimiento} \times 2.3)$ .

e) Peso canal caliente.

Peso tomado inmediatamente después de la matanza.

f) Grosor de la grasa.

El grosor de la grasa fue tomado de la 12ava costilla. Esta medición fue hecha en un punto de  $3/4$  de largo del músculo longissimus desde la última parte del hueso del espinazo perpendicularmente hasta la superficie externa de la grasa. Esta medición puede ser ajustada, como sea necesario, para reflejar cantidades no usuales de grasa en otras partes de la canal.

g) Porcentaje de grasa pelvica, renal y corazón.

Grasa acumulada en la cavidad del cuerpo de la canal. Este peso fue estimado y reportado como porcentaje del peso de la canal caliente.

### 7.3.2 Análisis y modelo estadístico.

Se estimó el consumo con base en la materia seca. Al peso final bruto de los animales se le restó el 4% de su peso vivo. La prueba fue analizada con un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 2x8 entre los tratamientos (Hicks y Anderson, 1973), bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + T_i \times B_j + E_{ij}.$$

donde:

- $Y_{ij}$  = Efecto de la ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y otras variables de la canal del j-ésimo promedio de cada bloque de novillos en el i-ésimo tratamiento.
- $\mu$  = Media poblacional.
- $T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento.
- $B_j$  = Efecto de la j-ésimo bloque..
- $T_i \times B_j$  = Efecto de la interacción del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.
- $E_{ijk}$  = Error experimental.

Las diferencias significativas en el análisis estadístico de la prueba ANOVA fue a través de contrastes; Se consideró el efecto grasa, efecto magnesio, interacción magnesio\*tratamiento, S vs GA, GT y GA vs GT (Hicks, 1973).

## 8. RESULTADOS Y DISCUSION.

### 8.1 Prueba de metabolismo.

La composición de ácidos grasos para las fuentes de grasas suplementadas se presentan en el Cuadro 6. El contenido de los ácidos grasos saturados en proporción al total fue 43, 30 y 41 % para sebo, grasa amarilla y grasa de trampa, respectivamente. El contenido de humedad, impurezas insolubles y material insaponificable (HIM) de la grasa de trampa y grasa amarilla fueron 630 y 340% mayores en comparación con el sebo. Los resultados para sebo y grasa amarilla estuvieron dentro de los parámetros oficiales de la American Fats and Oils Association (AFOA, 1988). Desafortunadamente no existen estándares oficiales para grasa de trampa. Sin embargo en un trabajo previo en nuestro laboratorio se encontró un índice de Iodo de 75 y un contenido de 67% de ácidos grasos insaturados para la grasa de trampa (Plascencia et al., 1999). En el presente trabajo la grasa de trampa tuvo un índice de Yodo de 0.61, con un contenido de 57% de ácidos grasos insaturados. La diferencia fue ocasionada porque la grasa de trampa es obtenida secundariamente, por el proceso de recuperación y reciclaje para obtener la grasa amarilla, por lo tanto la composición de grasa de trampa va a ser más variable y contiene mayores niveles en HIM y ácidos grasos libres.

Los resultados de la prueba de metabolismo en relación a las características de digestión ruminal y de tracto total se presentan en el Cuadro 6. El consumo de agua disminuyó 8% ( $P < .1$ ) cuando se suplementó con grasas la dieta. Pero la suplementación de óxido de magnesio incrementó 22% ( $P < .05$ ) el consumo de agua. Se demostró interacción ( $P < .05$ ), entre las fuentes de grasa suplementada y el nivel de magnesio sobre el consumo de agua. Información previa

(El-Bedawy et al., 1996) ha demostrado que la sustitución o suplementación con grasa decrece el consumo de agua. En cambio, la suplementación con magnesio con Magnesita en polvo incrementó el consumo de agua en 28% comparado con el grupo control (Sommer, et al., 1997). En general, el consumo voluntario de agua esta regulado por diversos factores, estos incluyen: tipo de dieta (cantidad de humedad), consumo, porcentaje de sal en la dieta, estado fisiológico y temperatura ambiental (NRC, 1996). Estos factores, fueron controlados en la prueba de metabolismo (Cuadros 4,5 y 7), el consumo de agua fue similar a la ecuación (33L/d) propuesta por Winchester y Morris (1956), pero fue exageradamente mayor, 89% (36 vs 19L) en comparación a lo que estima el cuadro presentado por la NRC (1996). Lo cual coincide con los datos sustituidos a la ecuación propuesta por la NRC (1996):

$$\text{Consumo de agua (1L/día)} = -19.76 + (0.4202 * MT) + (0.1329 * CMS) - (6.5966 * PP) - (1.1739 * SD)$$

donde: Máxima temperatura (MT). 63<sup>0</sup>F.

Consumo de materia seca (CMS) = 4.052 Kg alimento día.

Precipitación pluvial (PP) = 0.

Sal en la dieta (SD) = dietas sin Mg .40%; dietas con Mg .62%.

La fórmula no estima ni representa un valor lógico.

No se presentaron interacciones entre los tratamientos (P > .10) en las digestiones de MO, FDN, N y almidón. Ramirez et al., (1998) también observaron la falta de interacción entre la suplementación de magnesio (.19 a .32%) y Laidlomycin sobre la digestibilidad total de MO, almidón y N. Investigaciones previas en nuestro laboratorio han demostrado que la suplementación de

grasa disminuye la digestibilidad de MO ruminal, 11% ( $P < .05$ : Zinn, 1988, 1992; Zinn y Shen, 1996) y total, 3% ( $P < .01$ : Zinn y Shen, 1996). En este trabajo la misma respuesta se presentó, en la reducción de digestibilidad ruminal, en 10% ( $P < .01$ ) y total de MO en 3.5% ( $P < .01$ ).

Las fuentes de grasa disminuyeron ( $P < .01$ ) las digestibilidades de FDN en rumen y en tracto en un 37 y 17%, respectivamente. Algunas veces se ha reportado que la incorporación de grasa en la dieta, disminuye la digestibilidad ruminal de FDN en 25% ( $P < .10$ , Zinn y Shen, 1996), o también la digestión de la FDN puede incrementarse 26% ( $P < .13$ ) proporcionalmente a la saturación de la grasa (Elliot et al., 1997) o simplemente no se presentaron diferencias en las digestibilidades de la fibra (Palmquist, 1991). La falta de digestión de MO puede ser consecuencia de la baja digestibilidad ruminal de la grasa (Zinn, 1988) y al efecto negativo en la digestión de la fibra, causado por la suplementación de grasa (Czerkawski y Clapperton, 1980). Por otro lado, ni las fuentes de grasa, ni los niveles de magnesio afectaron ( $P > .10$ ) la digestibilidad ruminal de almidón, eficiencia de nitrógeno microbiano y eficiencia de nitrógeno. Teóricamente el incremento en la síntesis de N microbiano ocurre cuando la suplementación de grasa decrece el número de protozoarios (Jenkins, 1993), sin embargo los resultados de éste trabajo no se ajustaron a ésta propuesta. Los reportes son diversos, algunos citan que la adición de grasa incrementa la eficiencia en la síntesis de proteína microbiana y la digestibilidad del nitrógeno (Pantoja et al., 1994; Zinn, 1989b), mientras otros no demostraron diferencias (Bock et al., 1991; Zinn, 1992; Elliot et al., 1997). En este trabajo el pasaje de N del alimento hacia el intestino delgado fue mayor en 8.8% ( $P < .05$ ) para el grupo de animales que consumieron grasa amarilla y grasa de trampa contra los suplementados con sebo. Quizás este efecto es debido al origen de las grasas. Sin embargo, en términos de porcentaje, la digestión postruminal y total de nitrógeno no fueron afectadas ( $P > .1$ ) por el nivel de magnesio o la suplementación de grasa.

La digestión postruminal y total de almidón disminuyeron 1.4 y .4% respectivamente ( $P < .1$ ) con la suplementación de grasa. Estudios previos (Zinn y Plascencia, 1993; Zinn y Shen, 1996) han demostrado que la suplementación de grasa no afecta la digestibilidad postruminal y total de almidón o del nitrógeno. La información en el caso de la suplementación de magnesio, cita que se puede incrementar .22% el MgO suplementado (Ramirez et al., 1998) o presentar resultados similares con .50 o .22% de MgO suplementado (Christiansen y Weeb, 1990; Zinn et al., 1996) en la digestión postruminal y total del nitrógeno, por lo tanto las diferencias de respuesta no son claras.

El pH del contenido del duodeno fue similar para todos los tratamientos. Pero el incremento del pH fecal es una variable de respuesta esperada cuando se suplementa con niveles de .2% ó más de MgO, base seca en la dieta (Erdman et al., 1980; Peirce et al., 1983; Teh et al., 1985, Christiansen y Webb, 1990). En forma similar, en el presente trabajo, la suplementación de MgO (.32% Mg en dieta) incrementó 7.4% ( $P < .01$ ) el pH fecal a un nivel cercano a 7.0. La materia fecal es la principal ruta de excreción del magnesio, quizás ésta es la mejor explicación para esa elevación del pH en los animales suplementados. La digestión de magnesio en el tracto total aumentó (77.7%,  $P < .05$ ) con el incremento del nivel de magnesio en la dieta. Hubo una correlación lineal positiva ( $R^2 = .53$ ) entre el nivel de magnesio suplementado y el flujo de magnesio que llegó al intestino. Independientemente de la cantidad de magnesio que entra al intestino delgado, la absorción de magnesio ruminal tendió a incrementar (42.7%) con .32% de magnesio suplementado en comparación con las dietas que contenían .18% de magnesio. Estudios previos han demostrado que el magnesio es transportado sí éste se encuentra en forma libre y ionizado (Dua y Care, 1995). Así, la absorción de magnesio en el retículo-rumen ocurre ampliamente como resultado de un proceso activo que depende de la bomba Na-K-ATPasa, la cual presenta un grado de saturación cuando las concentraciones de magnesio en líquido ruminal alcanzan 30.4 mg/dL (Martens, 1983; Dua y Care, 1995). En este estudio el promedio mas alto hallado fue de 15 mg/dL (Cuadro 15); la

correlación entre el magnesio libre en rumen y la absorción de éste en rumen fue baja ( $R^2 = .05$ ), por lo tanto se confirma el efecto negativo de la suplementación de grasa sobre la absorción de magnesio en el área pregástrica, en donde el retículo rumen es el principal sitio de absorción de magnesio (Martens, 1983; Hurley et al., 1990; Dua y Care, 1995). El promedio de absorción de Mg en este trabajo fue de 32.9% (Cuadro 9). Sin embargo, el transporte pasivo de la serosa a la mucosa epitelial del rumen, es el otro mecanismo de menor importancia, que también se asocia a la absorción del magnesio (Martens, 1985). Por lo tanto, el mecanismo de absorción parece ser más complejo y no está suficientemente claro. En este trabajo la mayor ingestión de agua se asoció a una mejor absorción del magnesio. Rayssiguier y Poncet (1980) suponen que el incremento del consumo de agua es proporcional a la cantidad de líquido ruminal y a la reabsorción de agua a través del epitelio, lo que puede ocasionar un incremento en el arrastre del magnesio ionizado hacia la absorción. Sin embargo, Care et al. (1984) demostró *in vitro*, que la absorción de Mg no tiene relación con la absorción o secreción del agua. Otra posible asociación es que el mayor transporte de agua a través del epitelio influya sobre el gradiente electroquímico que regula el transporte pasivo del magnesio (Martens, 1985) e indirectamente también influya en el incremento de la absorción del magnesio ionizado. Como ya se citó, la suplementación de grasa disminuyó la absorción de magnesio ruminal en 41.6% ( $P < .1$ ), este efecto al parecer fue ocasionado por la formación de jabones de magnesio en el rumen, los cuales dependen de la cantidad de ácidos grasos de cadena larga ingeridos en los tratamientos.

El consumo de calcio fue similar para todos los tratamientos (27.2 g/d; Cuadro 4). La fuente de grasa o el nivel de magnesio no afectaron el flujo de calcio hacia el duodeno o las heces fecales ( $P > .1$ ). La falta de un efecto de la suplementación de grasa sobre la digestión postruminal de calcio fue similar a un trabajo previo (Zinn y Shen, 1996). Así en ambas pruebas el calcio ionizado o libre en rumen (CaI, mg/dL; Cuadro 15) estuvo asociado con el pH ruminal y el consumo de ácidos grasos (CAG, g/d):  $CI = 63.4 -$

$$9.73\text{pH} + .00039\text{CAG} \quad (R^2 = .53).$$

Los efectos de los tratamientos sobre la digestión postruminal y el porcentaje de biohidrogenación de los lípidos se demuestra en los Cuadros 13 y 14. Las fuentes de suplementación de grasas incrementaron la cantidad de grasa hacia el intestino delgado (91%,  $P < .05$ ) y excreción fecal (161%,  $P < .01$ ). La digestión postruminal de C16:1 se incrementó 27.4% con la suplementación de grasa. Pero éste ácido graso no puede influir sobre la digestibilidad de la grasa total, porque representa menos del 2% del total de los ácidos grasos de cadena larga que salen del abomaso. Específicamente en cuanto a la proporción, la cantidad de C18:0 representa el 44.5% del total de ácidos grasos que salen del abomaso, ésta cantidad influye sobre las diferencias o no diferencias estadísticas de la digestibilidad postruminal total de los ácidos grasos. En esta prueba la digestibilidad postruminal del total de los ácidos grasos fue similar ( $P > .1$ ) entre los tratamientos y promedió 75%. Los resultados de cuatro pruebas realizadas en nuestro laboratorio, con la suplementación de grasa en pruebas de metabolismo (Zinn, 1988; Zinn, 1989b; Zinn y Plascencia, 1993; Zinn, 1993), demostraron una estrecha relación entre el consumo de grasa (GI, g/kg BW) y la digestibilidad de la grasa postruminal:

$$\text{Digestión de grasa \%} = 83.2 - 4.52 \text{ GI} - .68 \text{ GI}^3 \quad (R^2 = .95).$$

Donde: GI = Grasa Ingerida, gramos/día.

De acuerdo con la fórmula, la digestibilidad postruminal de lípidos es de 74.5 % para las grasas suplementadas, este valor es similar a el estimado por la fórmula.

La digestibilidad intestinal corregida en las grasas

suplementadas se obtuvo restando la contribución de lípidos de la dieta basal a las dietas suplementadas, así el promedio fue 65.5% (67, 60 y 73 respectivamente para sebo, grasa amarilla y grasa de trampa respectivamente). Por otro lado, los valores de energía digestible se obtuvieron con los valores de la energía bruta (Kcal/g) y los porcentajes de la digestibilidad intestinal: Sebo =  $9.4 * .67$ , grasa amarilla =  $9.24 * .60$  y grasa de trampa =  $9.18 * .73$ . Dado que la energía metabolizable es equivalente al valor de la energía digestible, según lo propuesto últimamente por la NRC (1996), entonces el valor esperado de la  $EN_g$ , de acuerdo a la fórmula propuesta por Garret (1980:  $EN_g = ((0.877) * (1.37EM - 0.138EM^2 + 0.0101EM^3 - 1.12)) - .41$ ) para sebo, grasa amarilla y grasa de trampa son 3.58, 3.06 y 3.89 Mcal/kg, respectivamente. Las condiciones para la variación de la energía de las grasas aún no son claras.

El flujo de los ácidos grasos C16:0 y C16:1 hacia el duodeno fue más bajo (P < .05) de 19.4 y 26.9% para sebo vs grasa amarilla, grasa de trampa respectivamente. El flujo de C16:0 incrementó 13.6% (P < .05) mientras que C18:2 decreció 15.3% (P < .05) hacia el duodeno para la suplementación de grasa amarilla contra grasa de trampa. Trabajos previos han demostrado que los ácidos grasos sintetizados de novo consisten ampliamente de C18:0 y C16:0 en una relación aproximada de 2:1 (Jenkins, 1993). Por lo tanto estos datos sugieren que los ácidos grasos sintetizados por los microorganismos del rumen (135 g/d promedio) no afectaron el flujo neto de los ácidos grasos individuales; más bien las diferencias fueron influenciadas significativamente por la composición per-se de los ácidos grasos de la dieta.

La biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos insaturados C18:1 incrementó (P < .05) con la suplementación de grasas. La biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos insaturados C18:2 y C18:3 fueron mayores con la suplementación de sebo que con grasa amarilla y grasa de trampa. Consecuentemente la biohidrogenación ruminal del ácido graso insaturado C18:3 se incrementó con la

suplementación de grasa amarilla y la suplementación de grasa de trampa. La base de estas diferencias también está relacionada a la composición de la dieta, per se, y como consecuencia del efecto de la reductasa microbiana, células libres en líquido ruminal y el grado de lipólisis en cada dieta (Jenkins, 1993). En otros estudios (Murphy et al., 1987; Wu et al., 1991) también han observado baja biohidrogenación ruminal de C18:1 (32% promedio), en contraste a una mayor biohidrogenación ruminal de C18:2 y C18:3 (74 y 67% promedio, respectivamente). La biohidrogenación ruminal del total de ácidos grasos insaturados C18 no fue diferente entre los tratamientos y promedió 51%. En un trabajo reciente realizado por Plascencia et al. (1999) observaron que la biohidrogenación ruminal fue similar con la suplementación de grasa amarilla (15% ácidos grasos libres) y grasa de trampa (42% de ácidos grasos libres) respectivamente. Por lo tanto los resultados no soportan la hipótesis de que los niveles de ácidos grasos libres inhiban la biohidrogenación de los ácidos grasos (Noble et al., 1974).

Los resultados de las fuentes de grasa suplementada sobre los ácidos grasos volátiles, pH del rumen y número de protozoarios se presentan en el cuadro 15. La suplementación de grasa incrementó 14% ( $P < .01$ ) la concentración molar de propionato y redujeron en 17.3% ( $P < .01$ ) la relación molar de acetato a propionato. Estos resultados son constantes (Zinn, 1988, 1989b), por lo general la suplementación de grasa reduce el ácido acético e incrementa la proporción molar de propionato. La producción de metano (mol de metano/mol de glucosa fermentada) fue reducida en 15% ( $P < .01$ ). Este efecto se ha reportado en numerosos estudios (Czerkawsky y Clapperton, 1980; Zinn, 1988; Zinn y Plascencia, 1993). Los ácidos grasos poliinsaturados son hidrogenados, pero el hidrógeno también es usado para la metanogénesis; quizás el contenido de grasas poliinsaturadas podría bajar la producción de metano, por una simple competencia de los iones de hidrógeno (Czerkawsky y Clapperton, 1980).

El número total de protozoarios se incrementó 12.7% ( $P < .05$ )

con la suplementación de MgO y decreció 12.9% ( $P < .05$ ) con la suplementación de grasa. En estudios similares la suplementación de grasa ha determinado una reducción significativa en el número de protozoarios (Ikwuegbu y Sutton, 1982; Towne et al., 1990). No hay información disponible sobre la relación entre los protozoarios y el metabolismo del magnesio. Presumiblemente, mucha de la diferencia en la población de protozoarios con suplementación de grasa parece ser relacionada a la desaparición de la MO, incremento de propionato, disminución de butirato (Veira, 1986) y las proporciones de ácidos grasos insaturados (Ikwuegbu y Sutton, 1982). Consecuentemente el número total de protozoarios disminuyó 12.8% ( $P < .1$ ) con 69.5% de ácidos grasos insaturados presente en la dieta (suplementación de grasa amarilla) contra 55.3% de ácidos grasos insaturados (suplementación de sebo).

Las concentraciones de Mg y pH en la orina se presentan en el Cuadro 16. El pH urinario no mostró ningún efecto entre los tratamientos. Sin embargo el promedio de la concentración de magnesio en orina presentó cambios significativos; así la suplementación de grasa disminuyó 21.6% ( $P < .10$ ) la cantidad de magnesio excretado por vía urinaria. Pero la suplementación de la grasa de trampa incrementó ( $P < .05$ ) la excreción de Mg urinario en 50% en comparación con sebo y similarmente también se incrementó ( $P < .1$ ) en 33%, en comparación con grasa amarilla. No existe información en lo referente a la suplementación de grasa y la excreción del Mg en orina. Por otro lado, investigaciones previas (Chicco et al., 1973; Chester-Jones et al., 1989) reportan alta correlación (.98) entre el consumo de magnesio en la dieta y la excreción total de Mg en orina. En el presente trabajo la suplementación de MgO incrementó 29% ( $P < .05$ ) la concentración de Mg en orina, sin embargo no se estimó la correlación con fines comparativos a las citas antes mencionadas, debido a que fue imposible estimar el volumen total de orina en los animales.

**Cuadro 6. Análisis químico de las fuentes de grasas suplementadas en la prueba 1 y 2.**

Fuente	Grasas suplementadas		
	Sebo	Grasa Amarilla	Grasa de Trampa
Ácidos grasos, %			
C14:0	2.95	1.14	2.36
C14:1	0.96	0.29	0.63
C15:0	0.7	0.23	0.86
C16:0	27.47	17.75	26.03
C16:1	5.81	1.84	3.86
C17:1	0.93	0.29	0.63
C18:0	12.59	10.51	12.36
C18:1	40.43	46.16	42.87
C18:2	6.67	19.27	9.07
C18:3	0.49	1.62	0.69
Otros	1	0.9	0.64
Índice de Yodo <sup>a</sup>	56.58	82.77	61.35
Humedad, % <sup>b</sup>	0.12	0.6	0.7
Impurezas, % <sup>b</sup>	0.08	0.5	1
Insaponificables, % <sup>b</sup>	0.31	0.62	1.5

<sup>a</sup> Calculado con la composición de los ácidos grasos, asumiendo que 1 mol de doble ligadura podrá unir 1 mol I<sub>2</sub>, y corregido por el contenido de glicerol.

<sup>b</sup> Análisis proporcionado por Baker Commodities Inc., Los Angeles, CA.

Cuadro 7. Ingredientes consumidos en la prueba de metabolismo.

	Nivel de Mg 18 %				Nivel de Mg 32 %			
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %
Peso del animal, kg	189	189	189	189	189	189	189	189
Consumo, g/d								
MS	4,051	4,051	4,052	4,052	4,052	4,052	4,053	4,053
MO	3,834	3,835	3,836	3,836	3,835	3,836	3,836	3,836
N	76.0	73.8	73.8	73.8	75.9	73.7	73.7	73.7
almidón	2,016	1,911	1,912	1,912	2,011	1,907	1,908	1,908
FDN	625.9	605.2	605.3	605.4	624.8	604.3	604.3	604.3
Ca	27.2	27.1	27.1	27.1	27.4	27.3	27.3	27.3
Mg	6.6	6.5	6.5	6.5	12.3	12.3	12.3	12.3
Consumo de agua, L/d	35.3	35.1	33.4	24.9	41.4	34.6	41.5	42.1

Cuadro 8. Respuesta de la suplementación del nivel de magnesio y grasas sobre el flujo de ingredientes hacia el intestino y materia fecal.

	Nivel de Mg .18 %				Nivel de Mg .32 %				EEM
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %	
Flujo hacia el duodeno, g/d									
MO <sup>b</sup>	2,180	2,220	2,323	2,347	2,194	2,458	2,499	2,432	68
almidón	495.9	434.6	485.2	478.1	451.2	464.8	491.6	433.9	28
N no amoniacal	92.6	84.9	87.3	90.7	92.7	94.4	92.8	96.3	2.3
N microbiano	59.0	53.6	51.6	52.9	54.7	55.8	52.7	52.8	2.2
N del alimento <sup>d</sup>	33.6	33.6	35.7	37.7	38.0	38.6	40.1	43.5	1.5
FDN <sup>a</sup>	375.5	462.1	460.9	420.6	420.2	510.6	479.1	476.2	.2
Ca	29.1	35.8	29.2	30.5	30.2	31.9	29.7	27.8	3.2
Mg <sup>b</sup>	3.8	4.7	5.7	4.8	6.4	8.7	8.0	7.1	.4
Eficiencia de NM <sup>h</sup>	26.6	25.1	25.7	26.3	25.2	30.7	28.6	28.3	1.4
Eficiencia de N <sup>i</sup>	1.22	1.15	1.18	1.22	1.2	1.2	1.26	1.3	0.03
Excreción fecal, g/d									
MO	741.0	820.5	892.0	868.6	764.3	850.1	850.1	846.3	27.7
N	25	25.9	25.1	25	25	23.5	23.2	24.0	.5
almidón <sup>c</sup>	18.3	22.6	22.6	26.3	14.8	26.8	24.6	15.9	3.1
FDN <sup>h</sup>	312.1	330.7	373.0	353.1	338.1	368.3	373.9	385.9	14.5
Ca	18.6	25.3	20.3	18.4	19.7	18.3	16.6	21.0	2.1
Mg <sup>b</sup>	4.2	5.6	5.5	5.6	6.9	8.2	8.2	8.	.2

<sup>a</sup>Control vs. S, GA, GT, P < .01<sup>b</sup>Control vs. S, GA, GT, P < .05<sup>c</sup>Control vs. S, GA, GT, P < .1<sup>d</sup>S vs GA, GT, P < .05<sup>e</sup>Efecto Mg, P < .05<sup>h</sup>Gramos de N microbiano/kg MO fermentada.<sup>i</sup>N no amoniacal que sale del abomaso/N consumido.

Cuadro 9. Respuesta de la suplementación del nivel de magnesio y grasas sobre los porcentajes de digestibilidad.

	Nivel de Mg .18 %				Nivel de Mg .32 %				EEM
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %	
Digestion en rumen, %									
MO <sup>a</sup>	58.5	56.1	52.9	52.6	57.0	50.5	48.6	50.4	1.7
N del alimento <sup>c</sup>	55.7	57.7	51.6	48.9	49.8	47.7	45.6	41.1	2.0
almidón	75.4	77.2	74.6	80.0	77.6	75.6	74.2	77.2	1.4
FDN <sup>a</sup>	39.9	23.6	23.9	30.6	31.4	15.6	20.7	21.3	3.2
Mg	42.1	27.6	11.9	26.9	47.9	29.2	35.2	42.4	4.7
% de digestión postruminal, entrando al intestino delgado.									
MO	65.9	62.9	61.3	63.2	65.1	65.1	66.1	64.7	1.0
N	73.5	70.1	72.2	73.3	73.8	75.7	75.6	75.6	.7
almidón <sup>b</sup>	96.1	95.1	95.3	94.7	96.7	93.8	95.3	96.2	.5
FDN <sup>d</sup>	14.7	28.1	15.9	13.9	16.9	19.2	21.1	10.7	.03
Ca	34.4	30.5	29.8	38.1	32.9	41.0	43.5	23.6	3.7
% de la digestión en tracto total.									
MO <sup>a</sup>	80.7	78.6	76.7	77.3	80.1	77.8	77.8	77.9	.7
N	67.1	64.8	66.0	66.2	67.2	68.6	68.6	67.4	.7
Almidón <sup>c</sup>	99.1	98.8	98.8	98.6	99.3	98.6	98.7	99.2	1.7
FDN <sup>a</sup>	50.2	45.4	38.3	41.7	45.8	39.1	38.1	36.1	2.4
Mg <sup>ac</sup>	36.1	14.2	15.7	13.7	44.4	33.6	33.7	29.9	2.5

<sup>a</sup>Control vs. S, GA, GT, P < .01<sup>b</sup>Control vs. S, GA, GT, P < .1<sup>c</sup>S vs GA, GT, P < .05<sup>d</sup>S vs GA, GT, P < .1

Efecto Mg, P &lt; .05

Cuadro 10. Respuesta de la suplementación del nivel de magnesio y grasas sobre la energía digestible y el pH.

	Nivel de Mg .18 %				Nivel de Mg .32 %				EEM
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %	
Energía digestible									
% <sup>a</sup>	77.5	75.3	72.6	76.8	75.2	74.7	74.8	77.9	.07
Mcal/kg	3.29	3.36	3.23	3.28	3.27	3.35	3.32	3.32	.03
pH									
Duodenal	2.34	2.62	2.48	2.41	2.71	2.71	2.73	2.61	.05
Fecal <sup>b</sup>	6.28	6.31	6.28	6.28	6.71	6.63	6.84	6.8	.09

<sup>a</sup>Control vs. S, GA, GT, P < .01

<sup>b</sup>Efecto Mg, P < .01

Cuadro 11. Respuesta de los niveles de Mg y fuentes de grasas sobre el consumo de los ácidos grasos.

	Nivel de Mg. 18 %				Nivel de Mg. 32 %			
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %
Consumo, g/d								
C16	32.6	71	56.4	67.9	32.6	71.1	56.4	68
C16:1	3.2	11.5	5.9	8.5	3.2	11.5	5.9	8.5
C18	7.3	25.5	21.6	24.1	7.3	25.5	21.7	24.2
C 18:1	48.1	105.9	110.3	105.4	48.1	106	110.4	105.5
C 18:2	51.7	60.5	77.2	63.3	51.8	60.6	77.3	63.3
C 18:3	2.3	3	4.6	3.2	2.3	3	4.6	3.2
AGT	145.3	277.4	276.1	272.6	145.4	277.7	276.4	272.9
TGTF insaturados	105.3	180.9	198	180.5	105.5	181.1	198.3	180.7

Cuadro 12. Respuesta de los niveles de Mg y fuentes de grasas sobre el flujo al intestino y la excreción fecal de los ácidos grasos.

	Nivel de Mg, 18 %				Nivel de Mg, 32 %				EEM
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %	
Flujo hacia el duodeno, g/d									
C16 <sup>bcd</sup>	32	77.4	57.3	67.7	30.6	81.5	62.7	68.6	2
C16:1 <sup>bc</sup>	1.5	4.3	2.5	3.6	2.2	4.7	3.5	3.7	0.4
C18 <sup>b</sup>	70.2	138.7	169.7	152.8	76.4	152.2	169.4	151.8	9.2
C 18:1 <sup>b</sup>	56.5	81.6	73.4	88.3	51	82.7	102.4	100.6	7.2
C 18:2 <sup>ae</sup>	20.7	23.5	24.3	21.3	15.1	21.2	27.4	22.5	1.3
C 18:3 <sup>b</sup>	1	1.8	1.7	1.4	1	1.4	1.5	1.8	0.2
AGT <sup>b</sup>	181.8	327.4	329	335	176.2	343.9	367	349.1	8.7
TGT insaturados <sup>b</sup>	79.6	111.3	102	114.6	69.2	110.1	134.8	128.7	7.9
Excreción fecal, g/d									
C16 <sup>ad</sup>	8.3	19.9	16.4	15.1	7.8	21.8	13	13	2.6
C16:1 <sup>g</sup>	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	1.1	0.7	0.7	0.1
C18 <sup>af</sup>	19.2	55.9	79.3	51.3	14.6	49.2	48.9	40.9	7.4
C 18:1 <sup>b</sup>	6.8	12.8	14	14.2	5.9	14.6	14.9	11.7	2.7
C 18:2 <sup>ag</sup>	2.4	3.5	6.1	4.2	1.7	3.1	3.2	2.9	0.5
C 18:3 <sup>a</sup>	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.04
AGT <sup>a</sup>	37.4	93	116.8	85.9	31	90.1	80.9	69.5	12.4
AGT insaturados <sup>b</sup>	9.9	17.1	21.1	19.5	8.6	19.1	19	15.6	3.2

<sup>a</sup> Control vs. S, GA, GT, P < .01<sup>b</sup> Control vs. S, GA, GT, P < .05<sup>c</sup> S vs GA, GT, P < .05<sup>d</sup> S vs GA, GT, P < .1<sup>e</sup> GA vs. GT, P < .05<sup>f</sup> GA vs GT, P < .1<sup>g</sup> Efecto Mg, P < .1

Cuadro 13. Respuesta de los niveles de Mg y fuentes de grasas sobre el porcentaje de la digestión postruminal de los ácidos grasos.

	Nivel de Mg, 18 %				Nivel de Mg, 32 %				EEM
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %	
Digestión postruminal, % duodenal									
C16	72.9	73.6	71.5	77.8	73.6	72.7	78.5	81.1	3.7
C16:1 <sup>a</sup>	59.4	86.2	71	80.2	62.7	75.8	75.6	78.2	4.1
C18	71.3	57	56	66	78.4	66.6	69.1	73.1	5.2
C 18:1	86.2	84.2	80.5	84.9	88.3	82.4	86.2	88.2	2.5
C 18:2	87.5	84.5	76.1	80.4	87.8	83.4	88.4	87.2	2.2
C 18:3 <sup>b</sup>	82.3	83.8	81.2	76.4	82.5	66.2	80.5	80.2	4
AGT	77.8	70.8	65.6	75	82	73	77.8	80.2	3.7
AGT insaturados	86.1	84.5	79.3	83.9	87.6	82.2	86.4	87.7	2.4

<sup>a</sup> Control vs. S, GA, GT, P < .01

<sup>b</sup> Interacción Mg y grasa, P < .1

Cuadro 14. Respuesta de los niveles de Mg y fuentes de grasas sobre el porcentaje de biohidrogenación.

	Nivel de Mg, 18 %				Nivel de Mg, 32 %				EEM
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %	
Biohidrogenación, %									
C18:1 <sup>a</sup>	12.9	37.9	44.5	36.9	17.9	39.3	33.2	32.3	4.5
C18:2 <sup>b</sup>	70.7	69	75.1	75	77	73.3	74.7	75	1.1
C18:3 <sup>bc</sup>	69.2	50.1	82.1	67.3	67.1	64.2	77.1	60.1	4.2
Total C18 acidos grasos insaturados	43.5	49.2	57.7	51.5	49.8	51.9	51	48.5	2.9

<sup>a</sup>Control vs. S, GA, GT, P < .05<sup>b</sup>Control vs GA, GT, P < .01<sup>c</sup>GA vs. GT, P < .05

Cuadro 15. Respuesta del nivel de magnesio y fuentes de suplementación de grasas sobre las concentraciones de Mg, Ca, pH, protozoa, AGV, y producción de metano en el líquido ruminal (Prueba de metabolismo).

	Nivel de Mg. 18 %				Nivel de Mg. 32 %				EEM
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %	
Ruminal									
pH <sup>c</sup>	6.3	6.05	6.34	6.17	6.07	6.08	6.21	6.17	0.08
Mg libre, mg/dL									
Actual <sup>d</sup>	8	8.6	7.7	8.2	14	14.9	14.9	14.2	0.8
Ajustado al pH <sup>cd</sup>	9.3	7.3	9.4	8.2	12.9	13.9	15.4	14.2	0.6
Ca libre, mg/dL									
Actual <sup>b</sup>	5.2	4.1	1	2.3	6.8	3.6	2.1	1.9	1.1
Ajustado al pH <sup>b</sup>	6.3	3	2.5	2.3	5.8	2.8	2.5	1.9	0.5
Protozoarios ml x 10 <sup>5</sup> <sup>bcd<sup>f</sup></sup>	13.99	12.97	9.81	11.5	14.41	13.47	13.25	13.26	0.6
AGV, mol/100 mol									
Acético <sup>b</sup>	52.6	48.7	50.7	48.4	51.2	48.7	48.8	48.7	0.9
Propiónico <sup>a</sup>	34.7	40.2	39.1	41.4	36.4	40	41	41.6	1.2
Butírico <sup>a</sup>	12.6	11.1	10.2	10.1	12.3	11.3	10.2	9.7	0.6
Acético/Propiónico <sup>a</sup>	1.53	1.21	1.33	1.19	1.42	1.22	1.21	1.18	0.06
Producción de metano <sup>ae</sup>	0.42	0.35	0.37	0.34	0.4	0.35	0.34	0.34	0.01

<sup>a</sup> Control vs. S, GA, GT, P < .01

<sup>b</sup> Control vs. S, GA, GT, P < .05

<sup>c</sup> S vs. GA, P < .1

<sup>d</sup> Efecto Mg, P < .05

<sup>e</sup> Metano, mol/mol equivalente de glucosa fermentada.

<sup>f</sup> Datos expresados en logaritmo natural.

Cuadro 16. Respuesta promedio del nivel de magnesio y suplementación de grasas sobre la concentración de Mg y el pH en orina.

	Nivel de Mg. 18 %				Nivel de Mg. 32 %				
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
		4 %	4 %	4 %		4 %	4 %	4 %	EEM
pH en orina	7.72	7.45	7.69	7.61	7.8	7.71	7.72	7.73	0.07
Mg en orina. mg/dL <sup>abcd</sup>	12.05	7.5	8.34	12.71	15.71	10.51	11.92	14.27	1.3

<sup>a</sup> Control vs. S, GA, GT, P < .1

<sup>b</sup> S vs. GT, P < .05

<sup>c</sup> GA vs. GT, P < .1

<sup>d</sup> Efecto Mg, P < .05

## 8.2 Prueba de comportamiento.

Los resultados de la prueba de comportamiento y los valores de EN se presentan en el Cuadro 17. En este estudio no hubo un efecto principal ( $P > .10$ ) de la suplementación de grasa sobre GDP. Sin embargo, la GDP fue menor en 10.8% ( $P < .05$ ) para grasa de trampa en comparación con grasa amarilla. La suplementación de grasas disminuyó en 4.6% ( $P < .1$ ) el consumo de materia seca y mejoró en 6.6% ( $P < .05$ ) la conversión alimenticia (consumo de materia seca/ganancia). Estos resultados son consistentes con algunos reportes (Zinn y Plascencia, 1992; Zinn y Shen, 1996), en otros la suplementación de grasa mejoró la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia (Zinn, 1988, 1989a; Brandt y Anderson, 1990; Bock et al., 1991). Prácticamente en éstos estudios ha existido una estrecha relación entre el consumo de materia seca y la ganancia de peso.

El valor de la  $EN_g$  (Mcal/kg) para la suplementación de sebo, grasa amarilla y grasa de trampa fueron obtenidas usando la técnica de reemplazo:

$$EN_g \text{ grasa} = [(EN_g \text{ dieta suplementada} - EN_g \text{ dieta no suplementada})/.04] + 1.65.$$

El valor de 1.65 Mcal/kg representa la cantidad de  $EN_g$  para maíz hojuelado al vapor (NRC, 1984) y el valor de .04 representa la cantidad de grasa reemplazada por el maíz. Así sustituyendo la información del Cuadro 4, los valores de  $EN_g$  para sebo, grasa amarilla y grasa de trampa promedió 5.88, 5.13 y 4.52 Mcal/kg, respectivamente; estos valores se encontraron dentro del rango de

pruebas previas conducidas en este centro de investigación (Zinn, 1988; Zinn, 1989a; Zinn y Plascencia, 1993; Plascencia et al. 1999), cuando el consumo de lípidos no excedió de 1.6 g/kg PV. La suplementación de sebo, grasa amarilla y grasa de trampa se incrementaron ( $P < .01$ ) los valores de  $EN_m$  y  $EN_g$  de la dieta por 6 y 7.3% respectivamente. Hubo una interacción en el nivel de Mg y la suplementación de grasa ( $P < .01$ ). El incremento de la  $EN_g$  de la dieta con la suplementación de sebo y grasa amarilla fue similar en 8.6 vs 8.0%, respectivamente para las dietas que contienen .18 y .32% Mg. Por el contrario, el incremento de la  $EN_g$  en la dieta con la suplementación de grasa de trampa fue 8.9% con .18% de Mg en la dieta. Pero el valor de la  $EN_g$  de la dieta no incrementó cuando la grasa de trampa fue incluida a la dieta con .32% Mg. La base de esta interacción no es clara, debido a que no hubo efectos de interacción ( $P > .10$ ) entre las grasas suplementadas y los niveles de Mg sobre la digestión postruminal de los ácidos grasos.

Los valores de  $EN_g$  en la dietas suplementadas resultan mayores a los valores obtenidos en la prueba de metabolismo ( $S= 3.58$ ,  $GA=3.06$  y  $GT= 3.89$  Mcal/kg). En otros trabajos similares la estimación de la  $EN_g$  de la grasa dentro de la prueba de metabolismo y comportamiento han sido similares (Plascencia et al., 1999), pero esto no siempre resulta constante. Prácticamente la interacción estima la energía de la dieta a través de la retención de ésta en el animal, lo anterior lleva a la posibilidad que cuando se evalúan insumos que tienen efectos sobre la fermentación o metabolismo de los nutrientes que reflejan una situación positiva de eficiencia energética, pueda ser sobreestimados, esto puede explicar en parte la variación considerable en las determinaciones del valor nutritivo de las grasas obtenidas por diferentes autores, ya discutido en el marco teórico. En la prueba de metabolismo el valor de energía de las grasas fue estimado con base en la digestibilidad de las grasas, las desventajas son comunes y es factible que el valor sea subestimado por las diferencias en el porcentaje de digestibilidad y porque la oxidación de grasa no resulta real; como se discutió anteriormente. En los trabajos realizados en este centro de investigación la mayor parte de los trabajos apuntan a

niveles mayores de energía de lo que recomienda la NRC (1996). Considerando los valores de la energía como la respuesta de confianza hacia la realización de la prueba, el valor de lo esperado con la composición de la dieta (observado/esperado = 1.02, Cuadro 7) resultaron similares. Otros estudios han demostrado mejoras en el valor de la energía neta cuando el Mg y Laidlomocina fueron suplementados en la dieta durante un periodo de alimentación de 262 días (Ramirez, 1998), la suplementación de Mg mejoró la ganancia diaria en el periodo de 28 a 153 días (Zinn et al., 1996). Quizás la diferencia entre las fuentes de suplementación de grasas y .32% Mg suplementado, con respecto a sus efectos en el desarrollo de los novillos, pueda llegar a ser más aparente durante un tiempo de prueba más largo.

Los efectos de tratamientos sobre las características de la canal se presentan en el Cuadro 8. El porcentaje de rendimiento disminuyó 1.5% ( $P < .1$ ) y el rendimiento al corte incrementó 2.2% ( $P < .05$ ) en la GT vs GA. Los efectos de la suplementación de ácidos grasos libres y la suplementación de Mg sobre las características de la canal no han sido reportados en la literatura. La cantidad de grasa PRC fue mayor, 5.5% ( $P < .05$ ) con la suplementación de .32% Mg. Hubo interacción ( $P < .10$ ) entre la suplementación de grasa y el nivel de Mg en la dieta sobre el grado de marmoleo. Así, con dietas sin suplementación de grasa el incremento de nivel de magnesio disminuyó en 15.2% el grado de marmoleo. Por el contrario, en las dietas suplementadas con grasa, el incremento del nivel de Mg (.32%) incrementó en 7.2% el grado de marmoleo. Una investigación previa (Ramirez et al., 1998) en novillos Holstein alimentados con una dieta basal alta en grano de maíz hojueleado y con 4% de grasa suplementada, se observó que el incremento del nivel de Mg de .18 a .32% incrementó el grado de marmoleo en 10% (4.05 vs 4.44). Por otro lado la incidencia de abscesos en los hígados fue mas baja ( $P < .1$ ) con sebo vs grasa amarilla y grasa de trampa y hubo una interacción entre Mg y grasas ( $P < .05$ ). La base de esta respuesta no es clara.

**Cuadro 17. Respuesta de los niveles de magnesio y la suplementación de grasas sobre la respuesta productiva en novillos para engorda (Prueba 2).**

	Nivel de Mg, .18 %				Nivel de Mg, .32 %				EEM
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
		4%	4%	4%		4%	4%	4%	
Días de prueba	119	119	119	119	119	119	119	119	-
Número corrales	4	4	4	4	4	4	4	4	-
Peso vivo, kg <sup>a</sup>									
Inicial	356.7	356.3	355.9	355.9	357.8	361.0	359.2	357.3	1.4
Ajust. a canal <sup>b</sup>	502.8	507.8	513.9	495.7	501.8	509.7	518.3	494.2	6.2
GDP, kg <sup>b</sup>	1.28	1.32	1.34	1.2	1.25	1.28	1.35	1.2	0.06
Consumo MS, kg/d <sup>cd</sup>	8.1	7.67	7.81	7.16	7.76	7.54	7.67	7.54	0.16
GDP/CMS <sup>bc</sup>	0.156	0.17	0.17	0.166	0.159	0.169	0.175	0.157	0.004
Energía neta de la dieta, Mcal/kg									
Mantenimiento <sup>cfg</sup>	2.14	2.28	2.27	2.28	2.18	2.34	2.30	2.34	.03
Ganancia <sup>cfg</sup>	1.46	1.59	1.58	1.59	1.50	1.64	1.60	1.64	.03
Observado/esperado EN de la dieta									
Mantenimiento <sup>gs</sup>	1.01	1.01	1.01	1.01	1.03	1.02	1.04	.97	.01
Ganancia <sup>gs</sup>	1.02	1.02	1.01	1.02	1.04	1.03	1.05	.96	.01

<sup>a</sup> El peso vivo inicial y final se le restó el 4%, del llenado del rumen. El peso final ajustado se obtuvo con el porcentaje del promedio del rendimiento (Peso final = peso de la canal/.652).

<sup>b</sup> Grasa amarilla vs. Grasa de trampa, P < .05.

<sup>c</sup> Grasa amarilla vs. Grasa de trampa, P < .10.

<sup>d</sup> Sin grasa vs. Sebo, Grasa amarilla, Grasa de trampa, P < .10.

<sup>e</sup> Sin grasa vs. Sebo, Grasa amarilla, Grasa de trampa, P < .05.

<sup>f</sup> Sin grasa vs. Sebo, Grasa amarilla, Grasa de trampa, P < .01.

<sup>g</sup> Interacción magnesio grasa, P < .01.

**Cuadro 18. Respuesta de los niveles de magnesio y fuentes de grasas sobre las características de la canal en novillos en engorda en corral (Prueba 2).**

	Nivel de Mg. 18 %				Nivel de Mg. 32 %				EEM
	Control	S	GA	GT	Control	S	GA	GT	
	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	
Peso de la canal, kg <sup>a</sup>	326.9	331	334.8	323	327	332.1	337.7	322	4
% de rendimiento <sup>a</sup>	64.4	64.8	65.4	64.6	64.9	65.3	65.9	64.7	0.3
Area ojo de costilla, cm <sup>2</sup>	84.4	88.3	84.3	85.2	85.2	83.5	83.6	85.9	2.1
Grosor de grasa, cm <sup>b</sup>	1.2	1	1.4	1	1.2	1.2	1.3	1.1	0.1
PRC, % <sup>ce</sup>	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.8	0.1
Grado de marmoleo <sup>df</sup>	4.6	4.3	4.2	4.2	3.9	4.6	4.7	4.3	0.1
Rendimiento corte, % <sup>a</sup>	50.4	51.1	49.8	50.9	50.4	50	49.6	50.7	0.3
Abscesos en hígado, % <sup>bd</sup>	5	5	6.2	15	15	0	15	10	4

<sup>a</sup> GA vs. GT, P < .05

<sup>b</sup> S vs. GA, GT, P < .1

<sup>c</sup> Efecto Mg, P < .1

<sup>d</sup> Interaccion Mg y grasa, P < .05

<sup>e</sup> Grasa pelvica, riñon y corazón como porcentaje del peso de la canal.

<sup>f</sup> Codigo: minimo ligero = 3, minimo pequeño = 4, etc.

## 9. CONCLUSIONES.

- 1) El valor alimenticio de las 3 fuentes de grasas suplementadas fue similar en la prueba de metabolismo digestivo.
- 2) El incremento de nivel de Magnesio en la dieta incrementó la absorción total de magnesio en el tracto digestivo.
- 3) La suplementación de Magnesio no afectó la digestión postruminal de las grasas.
- 4) Se presentaron interacciones entre la suplementación de Mg y grasa. Específicamente el nivel de Mg (.32%) suplementado con grasa incrementó el grado de marmoleo.
- 5) El incremento de Mg en la dieta de .18 a .32% mejoró el valor alimenticio de la suplementación de grasa sobre las características de la canal.

10. Literatura citada.

- AFOA. 1988. Trading and Arbitration Rules. p34. American Fats and Oils Association, Inc. New York.
- Aldrich, C. G., N. R. Merchen, and J. K. Drackley. 1995. The effect of roasting temperature applied to whole soybean on site of digestion by steers: I. Organic matter, energy, fiber, and fatty acid digestion. *J. Anim. Sci.* 73:2120.
- AMSA. 1990. Recommended procedures for beef carcass evaluation and carcass contests. American meat science association. Beef industry council. 1-16.
- AOAC. 1975. Official methods of analysis (12th ed). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Axford, R.F.E., A. Hughes and R.A. Evans. 1982. Magnesium ammonium phosphate precipitation and its significance in sheep. *Proc. Nutr. Soc.* 41: 85A.
- Beardsworth, L., P.M. Beardsworth and Care, A.D. 1989. The effect of ruminal phosphate concentration on the absorption of calcium, phosphorus and magnesium from the reticulo-rumen of the sheep. *Br. J. Nutr.* 61: 715.
- Beede, D. K., G. G. Davalos, and E. M. Hirschert. 1992. Comparison of four magnesium oxide sources each fed at three dietary concentrations to lactating cows. Florida dairy production conference. 29A: 85.
- Bock, B.J., D.L. Harmon, R.T. Brandt and J.E. Schneider. 1991. Fat source and calcium level effects on finishing steer performance, digestion and metabolism. *J. Anim. Sci.* 69:2211.
- Brandt, B. 1988. Effect of fat source on performance and carcass quality of finishing steers. Rept. of Prog. 539. Ag. Exp. Sta., Kansas State Univ., Manhattan. p. 103.
- Brandt, R. T., Jr. 1995. Use of supplemental fat to optimize net energy intake by feedlot cattle. In Symposium: Intake by feedlot cattle. Oklahoma Agricultural Experiment Station. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources Oklahoma Sate University. 303.
- Brandt, R. T., Jr, and S.J. Anderson. 1990. Supplemental fat source affects feedlot performance and carcass traits of finishing yearling steers and estimated diet net energy value. *J. Anim. Sci.*

68: 2208.

- Brethour, J.R., R.J. Sirry and A.D. Tillman. 1957. Further studies concerning the effects of fats in sheep rations. *J. Anim. Sci.* 17:171.
- Brooks, C.C., G.B. Garner, W.C. Gehrke, M.E. Muhrer and W.H. Pfander. 1954. The effect of added fat on digestion of cellulose and protein by the rumen microorganisms. *J. Anim. Sci.* 13:758.
- Bryant, M.P., I.M. Robinson and H. Chu. 1959. Observations on the nutrition of *Bacteroides succinogenes* - a ruminal cellulolytic bacterium. *J. Dairy Sci.* 42:1831.
- Buchanan-Smith, J.G., G.K. Macleod and D.N. Mowat. 1974. Animal fat in low-roughage diets for ruminants: The effect of nitrogen source and an amino acid supplement. *J. Anim. Sci.* 38:133.
- Burton, F. 1989. Restaurant grease: How much is out there?. *Render*. June. pp. 10-16.
- Care, A. D., Brown, R. C., Farrar, A. R. and Pickard, D. W. 1984. Magnesium absorption from the digestive tract of sheep. *Quart. J. Exp. Physiol.* 69:577.
- Care, A. D., L. J. Beardsworth, P.M. Beardsworth and G. Breves. 1989. The absorption of calcium and phosphate from rumen. *Acta Vet. Scand.* 86: 152.
- Chester-Jones, H., J.P. Fontenot, H.P. Veit and K.E. Weeb Jr. 1989. The physiological effects of feeding high levels of magnesium to sheep. *J. Anim. Sci.* 67: 1070.
- Chester-Jones, H., J.P. Fontenot and H.P. Veit. 1990. Physiological and pathological effects of feeding high levels of magnesium to steers. *J. Anim. Sci.* 68: 4400.
- Chicco, C.F., C.B. Ammerman, W.G. Hillis AND L.R. Arrington. 1972. Utilization of dietary magnesium by sheep. *Amer. J. Physiol.* 222: 1469
- Chicco, C.F., C.B. Ammerman, J.P. Feaster and B.G. Dunavant. 1973. Nutritional interrelationships of dietary calcium, phosphorous and magnesium. *J. Anim. Sci.* 36: 986
- Christiansen, M. L., and K. E. Webb. 1990. Intestinal acid flow, dry matter, starch and protein digestibility and amino acid absorption in beef cattle fed a high-concentrate diet with defluorinated rock phosphate, limestone or magnesium oxide. *J. Anim. Sci.* 68: 2105.
- Clary, E. M., R. T. Brandt, Jr., D. L. Harmon, and T. G. Nagajara. 1993. Supplemental fat and ionophore in finishing diets: Feedlot performance and ruminal digesta kinetics in steers. *J. Anim. Sci.* 71: 3115.

- Cuitun, L.L., W.H. Hale, B. Theurer, F.D. Dryden and J.A. Marchello. 1975. Protein protected fat for ruminants. I. Digestion and performance in fattening steers. *J. Agric. Sci.* 40:691.
- Czerkawsky, J. W. and J. L. Clapperton. 1980. Fats energy-yielding compounds in the ruminant diet. *Energy metabolism*. Butterworths. 249-264.
- Davison, K.L. and W. Woods. 1963. Effect of calcium and magnesium upon digestibility of a ration containing corn oil by lambs. *J. Anim. Sci.* 22:27.
- DePeters, E.J., S.J. Taylor, C.M. Finley and T.R. Famula. 1987. Dietary fat and nitrogen composition of milk from lactating cows. *J. Dairy Sci.* 70:1192.
- DePeters, E.J., S.J. Taylor and R.L. Baldwin. 1989. Effect of dietary fat in isocaloric rations on the nitrogen content of milk from Holstein cows. *J. Dairy Sci* 72:2949.
- Dinius, D.A., L.F. Edmondson, W. Kimoto and R.R. Oltjen. 1975. Growth, blood parameters and tissue lipids of finishing cattle fed a formaldehyde treated casein-safflower oil complex. *J. Anim. Sci.* 40:358.
- Drackley, J.K., A.K. Clark and T. Sahlu. 1985. Ration digestibilities and ruminal characteristics in steers fed sunflower seeds with additional calcium. *J. Dairy Sci.* 68:356.
- Dua, K. and A.D. Care 1995. Impaired absorption of magnesium in the aetiology of grass tetany. *Br. Vet. J.* 151: 413.
- Dunn, 1988. Imperial Valley Agriculture Center. Bulletin. University of California.
- Elliot, J. P., J. K. Drakley, C. G. Aldrich, and N. R. Merchen. 1997. Effect of saturation and esterification of fat sources on site and digestion of organic matter, fiber, and nitrogen. *J. Anim. Sci.* 75:2803.
- Erdman, R. A., R. L. Botts, R. W. Hemken and L. S. Bull. 1980. Effect of dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide on production and physiology in early lactation. *J. Dairy Sci.* 63:923.
- Esplin, G. W.H. Hale, F. Hubbert, Jr. and B. Taylor. 1963. Effect of ruminal tallow and hydrolyzed vegetable and animal fat on ration utilization and rumen volatile fatty acid production with fattening steers. *J. Anim. Sci.* 22:695.
- Field, A.C. 1962. Studies on magnesium in ruminant nutrition. II. Effect of abrupt changes in the nature of the diet on the urinary magnesium excretion of sheep. *Brit. J. Nutr.* 16:99.

- Fontenot, J.P., V.G. Allen, G.E. Bunce and J.P. Goff. 1989. Factors influencing magnesium absorption and metabolism in ruminants. *J. Anim. Sci.* 67: 3445.
- Galbraith, H., T.B. Miller, A.M. Paton and J.K. Thompson. 1971. Antibacterial activity of long chain fatty acids and the reversal with calcium, magnesium, ergocalciferol and cholesterol. *J. Appl. Bacteriol.* 34:803
- Garrett, W. N. 1971. Energetic efficiency of beef and dairy steers. *J. Anim. Sci.* 32:451.
- Garret, W. N. 1980. Energy utilization by growing cattle as determined in 72 comparative slaughter experiments. *Energy Metab. Proc. Symp.* 26: 3-7.
- Giduck, S.A. , J.P. Fontenot and S. Rahnema. 1988. Effect of long chain fatty acids on bacterial respiration and amino acid uptake. *J Appl. Bact.* 36:659.
- Grainger, R.B., M.C. Bell, J.W. Stroud and F.H. Baker. 1961. Effect of various cations and corn oil on crude cellulose digestibility by sheep. *J. Anim. Sci.* 20:319.
- Greene, L.W., Fontenot, J.P. and Webb Jr., K.E. (1983a). Effect of dietary potassium on absorption of magnesium and other macroelements in sheep fed different levels of magnesium. *J. Anim. Sci.* 56:1208
- Greene, L.W., Fontenot, J.P. and Webb Jr., K.E. (1983b). Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of potassium. *J. Anim. Sci.* 57:503
- Greene, L.W., J.P. Fontenot and K.E. Weeb. 1983c. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high level of potassium. *J. Anim. Sci.* 57: 503.
- Greene, L. W., G. T. Schelling, and F. M. Byers. 1986. Effects of dietary monensin and potassium on apparent absorption of magnesium and other macroelements in sheep. *J. Anim. Sci.* 63:1960.
- Greene, L. W., B. J. May, G. T. Schelling, and F. M. Byers. 1988. Site and extent of apparent calcium and magnesium absorption in steers fed monensin. *J. Anim. Sci.* 66:2987.
- Grings, E.E. and J.R. Males. 1988. Performance, blood and ruminal characteristics of cows receiving monensin and a magnesium supplement. *J. Anim. Sci.* 66:556.
- Hatch, C.F., T.W. Perry, M.T. Mohler and W.M. Beeson. 1972. Effect of added fat with graded levels of calcium and urea-containing rations for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 34:483.

- Hawke, J.C. and W.R. Silcock. 1970. The in vitro rates of lipolysis and biohydrogenation in rumen contents. *Biochem. Biophys. Acta* 218:201.
- Henderson, C. 1973. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 81:107.
- Hicks, C. R. 1973. *Fundamental concepts in the design of experiments*. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Hill, F. N., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587.
- Horn, J.P. and Smith, R.H. 1978. Absorption of magnesium by the young steer. *Br. J. Nutr.* 40: 473.
- Hurley, L.A., L.W. Greene, F.M. Byers and G.E. Carstens. 1990. Site and extent of apparent magnesium absorption by lambs fed different sources of magnesium. *J. Anim. Sci.* 68: 2181.
- Ikwuegbu, O. A. and J. D. Sutton. 1982. The effect of varying the amount of linseed oil supplementation on rumen metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.* 48: 365.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 76:3851.
- Jenkins, T.C. and D.L. Palmquist. 1982. Effect of added fat and calcium on in vitro formation of insoluble fatty acid soaps and cell wall digestibility. *J. Anim. Sci.* 55:957.
- Jenkins, T.C. and D.L. Palmquist. 1984. Effect of fatty acids or calcium soaps on rumen and total nutrient digestibility of dairy rations. *J. Dairy Sci.* 67:971.
- Johnson, R.R. and K.E. McClure. 1972. High fat rations for ruminants. I. The addition of saturated and unsaturated fats to high roughage and high concentrate rations. *J. Anim. Sci.* 34:501.
- Johnson, C.L. and D.A. Aubrey Jones. 1989. Effect of change of diet on the mineral composition of the rumen fluid, on magnesium metabolism and on water balance in sheep. *Br. J. Nutr.* 61: 583.
- Kemp, A., W.P. Deijs and E. Kluvers. 1966. Influence of higher fatty acids on the availability of magnesium in milking cows. *Neth. J. Ag. Sci.* 14: 290.
- Lofgreen, G.P. 1965. Net energy of fat and molasses for beef heifers with observations on method for net energy determination. *J. Anim. Sci.* 24:480.
- MacLeod, G.K. and J.G. Buchanan-Smith. 1972. Digestibility of hydrogenated tallow, saturated fatty

- acids and soybean oil supplemented diets by sheep. *J. Anim. Sci.* 35:890.
- Maczulak, A.E., B.A. Dehority and D.L. Palmquist. 1981. Effects of long-chain fatty acids on growth of rumen bacteria. *Appl. and Envr. Microbiol.* 42:856.
- Martens, H. 1983. Saturation kinetics of magnesium efflux across the rumen wall in heifers. *Br. J. Nutr.* 49:153.
- Martens, H. 1985. The effect of dinitrophenol on magnesium transport across an isolated preparation of sheep rumen epithelium. *Quart. J. Exp. Physiol.* 70:567.
- Martens, H., J. Harmeyer and H. Michael. 1978. Magnesium transport by isolated rumen epithelium. *Res. Vet. Sci* 24: 161.
- Martens, H. and Y. Rayssiguier. 1980. Magnesium metabolism and hypomagnesaemia. In *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*. AVI Publishing Company, INC. Westport Connecticut. pp. 447-466.
- Martens, H.O. and Blume, I. 1986. Effect of intraruminal sodium and potassium concentrations and of the transmural potential difference on magnesium absorption from the temporarily isolated rumen of sheep. *Quart. J. Exp. Physiol.* 71: 409.
- Martens, H., O.W. Kubel, G. Gabel and H. Honig. 1987b. Effects of low sodium intake on magnesium metabolism of sheep. *J. Agric. Sci. Camb.* 108: 237.
- McDowell, L.R., Velásquez, G. Valle. 1997. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Dpto. Zootecnia. Universidad de Florida, Gainesville. p. 84.
- Montaño, M. y Zinn, R. A. 1997. Comparación del potencial alcalinizante en rumen de Brucite (Hidróxido de magnesio) y bicarbonato de sodio en dietas de finalización. 7a. reunión anual sobre producción de carne y leche en climas cálidos. Centro de convenciones Calafia. Mexicali, B.C. Sep 4 y 5 pp.
- Murphy, M., P. Udén, D. L. Palmquist, and H. Wiktorsson. 1987. Rumen and total digestibilities in lactating cows fed diets containing full-fat rapeseed. *J. Dairy Sci.* 70: 1572.
- Noble, R. C., J. H. Moore, and C. G. Harfoot. 1974. Observations on the pattern of biohydrogenation of esterified and unesterified linoleic acid in the rumen. *Br. J. Nutr.* 31:99.
- N.R.C., 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 6th Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C.

- N.R.C., 1985. Nutrient Requirements of Sheep, 5th Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C.
- N.R.C., 1989. Nutrient Requirements of Dairy cow, 5th Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C.
- N.R.C., 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle, 6th Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C.
- O'kelley, R.E. and J.P. Fontenot. 1969. Effects of feeding different magnesium levels to drylot-fed gestating beef cows. *J. Anim. Sci.* 36: 994.
- Oldick, B. S., C. R. Staples, W. W. Thatchern and P. Gyawu. 1997. Abomasal infusion of glucose and fat-effect on digestion production, and ovarian and uterine functions of cows. *J. Dairy Sci.* 80:1315.
- Palmquist, D. L. 1991. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 74: 1354.
- Palmquist, D.L. 1992. Fat in dairy cattle rations. Fats and proteins research foundation, inc. 1-10 pp.
- Palmquist, D.L. and T.C. Jenkins. 1980. Fat in lactation rations: Review. *J. Dairy Sci.* 63:1.
- Palmquist, D.L., T.C. Jenkins and A.E. Joyner, Jr. 1986. Effects of dietary fat and calcium source on insoluble soap formation in the rumen. *J. Dairy Sci.* 69:1020.
- Pantoja, A., J. L. Firkins, M. L. Eastridge, and B. L. Hull. 1994. Effects of fat saturation and sources of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77: 2341.
- Park, C.S., W. Rafalowski and G.D. Marx. 1983. Effect of dietary fat supplement on lipid metabolism of Holstein Heifers. *J. Dairy Sci.* 66:528.
- Peirce, S. B., L. D. Muller and H. W. Harpster. 1983. Influence of sodium bicarbonate and magnesium oxide on digestion and metabolism in yearling beef steers abruptly changed from high forage to high energy diets. *J. Anim. Sci.* 57:1561.
- Plascencia, A., M. Estrada and R. A. Zinn. 1999. Influence of free fatty acid content on the feeding value of yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim Sci.* In press.

- Rahnema, S., Z. Wu, O. A. Ohajuruka, W. P. Weiss and D. L. Palmquist. 1994. Site of mineral absorption in lactating cows fed high-fat diets. *J. Anim. Sci.* 72:229.
- Ramirez, J. E., E. G., Alvarez, M. Montaña, Y. Shen, and R. A. Zinn. 1998. Influence of dietary magnesium level on growth-performance and metabolic responses of Holstein steers to Laidlomycin Propionate. *J. Anim. Sci.* 76: 1753.
- Rayssiguier, Y. and Poncet, C. 1980. Effect of lactose supplement on digestion of lucerne hay by sheep. II. Absorption of magnesium and calcium in the stomach. *J. Anim. Sci.* 51:186.
- Robertson, J.A. and J.C. Hawke. 1964. Studies on rumen metabolism. III. Effect of lipids in vitro and in vivo on microbial activity. *J. Sci. Fd Agric.* 15:890.
- Sell, J. L. and J. P. Fontenot. 1980. NFIA Literature review on magnesium in animal nutrition. National feed ingredients association. Iowa.
- Sommer, A, M Chrenkova, J. Chovanec, M. Pajtas, M. Polacikova and C. Braun. 1997. VDLUFA Kongresses in Leipzig. Stoff- und Energiebilanzen in der Landwirtschaft und weitere Beitrage aus den öffentlichen Sitzungen 15: 155.
- Stewart, J. and E. W. Moodie. 1956. The absorption of magnesium from the alimentary tract of sheep. *J. Comp. Path. Therapy* 66:10.
- Sukhija, P., and D. L. Palmquist. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.* 36:1202.
- Teh, T. H., R. W. Hemken and R. J. Harmon. 1985. Comparasion of buffers and their modes in the rumen and abomasum. *Nutr. Rep. Int.* 32:1339.
- Towne, G., T. G. Nagajara, R. T. Brandt, Jr., and K. E. Kemp. 1990. Ruminal ciliated protozoa in cattle fed finishing diets with or without supplemental fat. *J. Anim. Sci.* 68: 2150.
- USDA. 1965. Official United States Standards for Grades of Carcass Beef. USDA, C&MS, SRA 99.
- Veira, D. M. 1986. The role of ciliate protozoa in nutrition of the ruminant. *J. Anim. Sci.* 63: 1547.
- Weizhong C. and P. Udén. 1998. An alternative oven method combined with different detergent strengths in the analysis of neutral detergent fibre. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74: 281.
- Wilson, J. 1981. Particles in sources of magnesium. thesis dissertation. University of Florida.
- Winchester, C. F., and M. J. Morris. 1956. Water intake rates of cattle. *J. Anim. Sci.* 15:722-740.

- Wolin, M. J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. *J. Dairy Sci.* 43:1452.
- Wu, Z., O. A. Ohajuruka, and D. L. Palmquist. 1991. Ruminal synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3025.
- Yano, F., H. Yano and G. Breves. 1991. Calcium and phosphorus metabolism in ruminants. In: Tsuda, Y. Sasaki, and R. Kawashiima (Ed). pp 277-295. *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Academic Press, New York.
- Zinn, R.A. 1986. Feeding value of fat for feedlot cattle. A feed fat symposium. Jacob Stern and Sons, Inc. Calif. Anim. Nutr. Conf. pp. 1-11.
- Zinn, R.A. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *J. Anim. Sci.* 66:213.
- Zinn, R.A. 1989a. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: feedlot performance. *J. Anim. Sci.* 67:1029.
- Zinn, R. A. 1989b. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: metabolism. *J. Anim. Sci.* 67:1038.
- Zinn, R. A. 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:767.
- Zinn, R.A. 1992. Comparative feeding value of supplemental fat in steam-flaked corn and steam-flaked wheat-based finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 70:
- Zinn, R. A. 1993. Method of supplementation and utilization of fat by feedlot steers. *Anim. Sci. Dep. IVAC*, 5:9
- Zinn, R.A. 1993a. Feeding value of fat in diets for feedlot cattle. Fat and proteins research foundation, inc. pp 1-56.
- Zinn, R. A., and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net
- Zinn, R. A, and A. Plascencia. 1992. Comparative digestion of yellow grease and calcium soaps of long chain fatty acids in cattle. *Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci.* 43:454.
- Zinn, R.A. and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71: 11.
- Zinn, R.A. and A. Plascencia. 1993a. Comparative digestion of yellow grease and calcium soaps of

long-chain fatty acids in cattle. Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science 43:

- Zinn, R.A., and Y. Shen. 1996. Interaction of dietary calcium and supplemental fat on digestive function and growth performance in feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 74:2303.
- Zinn, R. A., Y. Shen, C. F. Adam, M. Tamayo, and J. Rosalez. 1996. Influence of dietary magnesium level on metabolic and growth-performance responses of feedlot cattle to laidlomycin propionate. *J. Anim. Sci.* 74: 1462.