

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



**INFLUENCIA DEL MÉTODO DE ADICIÓN Y GRADO DE SATURACIÓN DE GRASAS
SUPLEMENTARIAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA DIGESTIÓN
RUMINAL Y DE TRACTO TOTAL EN NOVILLOS CONSUMIENDO DIETAS
ENRIQUECIDAS CON GRASA**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS**

PRESENTA:

MVZ. YISSEL SACNITÉ VALDÉS GARCÍA

MEXICALI, B. C., MÉXICO

JUNIO DEL 2008

Influencia del método de adición y grado de saturación de grasas suplementarias sobre las características de la digestión ruminal y de tracto total en novillos consumiendo dietas enriquecidas con grasa. Tesis presentada por Yissel Sacnicté Valdés García como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera
Director principal/

Dr. Richard A. Zinn
Director principal/

Dr. Fernando Calderón Cortés
Asesor/

MC María Alejandra López Soto
Asesor/

MC Victor Manuel González Vizcarra
Asesor/

Mexicali Baja California a 25 de agosto del 2008

Contenido

Índice de Cuadros.....	i
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Revisión de Literatura.....	5
<i>Fuentes y tipos de grasa</i>	5
<i>Grasa amarilla.....</i>	5
<i>Sebo.....</i>	8
<i>Grasas mezcladas.....</i>	8
<i>Extractos de jabón y otras fuentes grasas altas en ácidos grasos libres....</i>	9
<i>Digestión de lípidos en rumiantes.....</i>	9
<i>Digestión ruminal.....</i>	9
<i>Digestión Intestinal.....</i>	12
<i>Factores que inciden en la digestibilidad de las grasas.....</i>	14
<i>Ácidos grasos libres (AGL).....</i>	15
<i>Proporción de insaturados: saturados.....</i>	16
<i>Métodos de adición.....</i>	20
<i>Nivel de inclusión.....</i>	22
Conclusiones.....	26
Literatura Citada.....	27

Experimento I:

Influence of fat titer and method of addition on characteristics of ruminal and total tract digestion

TITLE.....	38
ABSTRACT.....	39
INTRODUCTION.....	39
MATERIALS AND METHODS.....	40
RESULTS AND DISCUSSION.....	43
IMPLICATIONS.....	45
REFERENCES.....	45

Índice de cuadros

Cuadro		Pág.
1	Composición química promedio de las principales grasas comerciales utilizadas en engorda de ganado.....	7
2	Comparación del Contenido de EN _m y EN _g (Mcal/kg) de grasas alimenticias estimado por medio de la técnica de reemplazo en novillos con dietas de finalización.....	24
3	Digestibilidad intestinal para rumiantes de las distintas fuentes de grasa.....	25
Tabla	Experimento I: <i>Influence of fat titer and method of addition on characteristics of ruminal and total tract digestion.</i>	
1	Composition of basal diets fed to steers.....	49
2	Influence of type and method of fat supplementation on characteristics digestion.....	50
3	Main effects of influence of source and method of fat supplementation on ruminal pH, VFA, and methane production 4 h after feeding.....	51

RESUMEN: Doce novillos Holstein (340 ± 7.2 kg) habilitados con cánulas en rumen y duodeno proximal fueron utilizados para estudiar la influencia del punto de fusión (36 vs. 41°C) y método de inclusión de grasa (mezclada en una porción de maíz hojuelado en una proporción de 25% de grasa y 75% de maíz, previo a la adición del resto de los ingredientes vs. la inclusión de grasa previo a la adición de melaza (penúltimo paso en el orden de adición de insumos al mezclador). La dieta basal contuvo 74.4% de maíz en hojuela y 5% de grasa suplementaria. No hubo efectos ($P > 0.10$) sobre sitio y grado de digestión de la MO, almidón, N, lípidos o la fracción de FDA; De igual forma, la concentración molar de AGV no fue afectada por los tratamientos. La digestión posruminal de lípidos promedió 69.3%, valor muy cercano al esperado (71%; donde la digestión de grasa, $\% = 83.18 - 4.52FI - .68FI^3$; Zinn, 1994) de acuerdo al nivel de consumo de grasa (FI, g/kg de peso vivo). Se concluye que el método de suplementación no ejerce efecto sobre el valor nutrimental de las grasas. Las diferencias en el punto de fusión entre las fuentes de grasas utilizadas no modificó la digestibilidad del almidón cuando las grasas se adicionaron recubriendo directamente una porción del maíz en hojuela.

ABSTRACT: Twelve Holstein steers (340 ± 7.2 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used to study the influence of fat titer (36 vs. 41°C) and method of fat inclusion (mixed in a portion of steam flaked corn in the proportion 25% fat and 75% corn, prior to adding other ingredients vs. addition of fat to the mixer as the second-to-last step, just before adding molasses) on characteristics of digestion. The basal diet contained 74.4% steam-flaked corn and 5% supplemental fat. There were no treatment effects ($P > 0.10$) on site and extent of OM, starch, N, lipid, and ADF digestion, nor on ruminal VFA molar concentrations. Post-ruminal lipid digestion averaged 69.3%, in close agreement with expected (71%; where fat digestion, % = $83.18 - 4.52FI - .68FI^3$; Zinn, 1994) based on level of fat intake (FI, g/kg of body weight). We conclude that method of fat supplementation does not influence the feeding value of supplemental fat. Differences in titer between fat sources do not modify the characteristics of ruminal starch digestion when fats are coated onto a portion of steam-flaked corn.

Key Words: Yellow grease, Tallow, Steers, Metabolism.

Introducción

Las grasas y aceites son una fuente alimenticia de alta densidad energética y de bajo costo para los rumiantes. Los valores de contenido energético para bovinos de engorda asignados por los estándares actuales (NRC, 1996) son de 6.00 y 4.75 Mcal/kg de EN para mantenimiento y EN para ganancia, respectivamente. Las grasas de grado alimenticio contienen aproximadamente 90% de ácidos grasos totales (AFOA, 1999), y éstos representan casi el 100% de su contenido energético (Zinn, 1989a); Por lo tanto, el valor energético de las grasas está supeditado a la digestibilidad de sus ácidos grasos, la cual se ha determinado en 80% en especies rumiantes (Palmquist, 1991). Sin embargo los resultados generados en diversos estudios muestran a la grasa alimenticia como uno de los insumos de mayor variabilidad en cuanto a su valor nutrimental, por lo que una gran atención se ha dirigido para comprender los factores que lo afectan. Las áreas de énfasis incluyen: tipo o fuente de grasa (Zinn, 1989; Brandt y Anderson, 1990; Krehbiel et al., 1995), contenido de ácidos grasos libres (Zinn, 1992; Zinn et al., 2000), grado de saturación (Johnson y McClure, 1972; Elliott et al., 1997), método de adición (Zinn et al., 1998; Zinn y Plascencia, 2004) y nivel de adición (Haaland et al., 1981; Moore et al., 1986; Zinn 1989a, 1994; Pylot et al., 2000; Plascencia et al., 2002).

El objetivo de esta revisión es discutir los principales factores que influyen en el valor nutrimental de las grasas alimenticias usadas en bovinos de engorda,

considerando a la fuente de grasa, así como el método y nivel de adición como factores de relevancia

Revisión de literatura

Fuentes y tipos de grasas

Los lípidos de los forrajes se encuentran principalmente en forma de ácidos grasos poliinsaturados esterificados como galactosilglicéridos; la concentración de ácidos grasos en esta forma rara vez supera el 1.5% de la materia seca de la dieta. En cambio, el contenido en ácidos grasos de cereales, semillas oleaginosas y grasas libres es variable, más elevado y en forma de triglicéridos.

En relación a las grasas libres, son diversas las fuentes de grasa que son utilizadas en la alimentación de bovinos de engorda, éstas difieren principalmente en contenido de impurezas, de ácidos grasos libres (AGL) y grado de saturación (Cuadro 1). A continuación se describen brevemente las fuentes de grasas más comúnmente utilizadas.

Grasa amarilla. El término de “amarilla” se debe a su apariencia, también se le conoce como grasa de restaurante o grasa de cocina ya que su origen es de cualquier combinación de los desperdicios o sobrantes de grasas y aceites colectados en cafeterías, restaurantes de comida rápida y panaderías. (Hamilton, 2002). Como resultado de cocinar cada vez más con aceites vegetales, la mayor parte de grasa amarilla recobrada es de origen vegetal que ha sido parcialmente hidrogenada para un

mejor desempeño en el proceso de cocinado, de tal forma que la proporción de insaturados: saturados es de 2.6.

Cuadro 1. Composición química promedio y perfil de AG de las principales grasas alimenticias utilizadas en engorda de ganado

Concepto	Grasa amarilla	Sebo de res	Mezcla animal-vegetal	Extractos de jabón	Sales de calcio
Composición química, %					
Humedad ^a	0.40	0.12	0.88	1.4	
Impurezas ^b	0.22	0.08	0.56	4.9	
Materia insaponificable ^c	0.71	0.31	3.88	3.46	
Valor de iodo ^d	82.06	54.04	67.16	102.6	
Ácidos grasos totales	92.6	92.48	92.9	85.7	81.3
Ácidos grasos libres	13.95	7.8	51.0	54.8	
Perfil de AG, %					
C16:0	18.03	25.23	22.3	21.5	49.8
C18:0	10.32	15.73	13.7	6.0	4.03
C18:1	46.88	42.18	35.5	26.5	36.3
C18:2	17.16	5.26	18.7	40.2	7.46
C18:3	1.42	.47	1.55	3.1	0.30

^a Elevados valores de contenido de humedad favorecen la rancidez hidrolítica de las grasas y esto puede afectar la aceptabilidad de las dietas suplementada con grasas, disminuyendo el consumo voluntario.

^b Son materiales filtrables insolubles en keroseno y compuesto principalmente por partículas de tejido muscular, cuero, hueso y metales. En la actualidad, valores altos de estos compuestos representan un riesgo de la presencia del agente que transmite la

aproximadamente (Zinn, 1988; Plascencia et al., 1991). Debido a la diversidad de sus fuentes, la grasa amarilla no es muy uniforme en su composición y puede variar de una área o una región a otra, o de una planta a otra. De acuerdo a los parámetros establecidos por la Asociación Americana de Grasas y Aceites (AFOA, 1999), su punto de fusión debe ser menor a 40°C y no debe contener más de 15% de ácidos grasos libres (AGL) y una máximo de 2% de impurezas.

Sebo. El sebo o grasa animal es un subproducto derivado principalmente de desperdicios de carne y vísceras y su origen es mayormente de ganado vacuno. Este tipo de grasa se caracteriza por una mayor uniformidad, además de presentar un alto punto de fusión (>40°C) y un menor contenido de humedad e impurezas comparado con las otras fuentes de grasas (Brandt y Anderson, 1990).

Grasas mezcladas. Son mezclas en diferentes proporciones, de grasas de origen animal, aceites vegetales, así como aceites acidulados y subproductos de refinería. No son uniformes en su composición, de hecho su composición es aún más variable por lo que es difícil caracterizarla de una manera generalizada. Comparada con la grasa amarilla es de apariencia más oscura y con un contenido mayor de AGL y de materia insaponificable, tendiendo además a poseer una proporción mayor de AG saturados reflejándose en un valor de yodo más alto. Las características típicas de calidad para esta fuente de grasa son 90% mínimo de ácidos grasos totales (AGT) y máximos de 50% de AGL, 3.5% de insaponificables, 1.5% de humedad y 1% de impurezas (Zinn,

1989a).

Extractos de jabón y otras fuentes grasas altas en AGL. Son subproductos resultantes de los procesos de la refinación de aceites comestibles. La composición de ácidos grasos es muy similar a la fuente original, pero con más contenido de AGL (> 50%). Otra fuente de grasa alta en AGL es la grasa denominada “grasa de trampa” (griddle grease), la cual es obtenida en las trampas del desagüe de cocinas de cafeterías y restaurantes. Esta tipo de grasa se ha incrementado en el mercado en los últimos años como resultado de recientes regulaciones medioambientales que indican que la grasa que se vierte al caño por error debe ser recuperada y reciclada. La composición es muy similar a la grasa amarilla pero contiene tres veces más de AGL (Plascencia et al., 1999b).

Digestión de lípidos en rumiantes

Digestión ruminal. La hidrólisis de los lípidos ocurre por acción de lipasas, galactosidasas y fosfolipasas producidas por bacterias ruminales, principalmente *Anaerovibrio lipolytica* y *Butyrivibrio sp* (Yokohama y Johnson, 1988) y el resultado de este proceso produce ácidos grasos libres (no esterificados) y glicerol. Los lípidos de forrajes, cereales y semillas quedan expuestos a la acción microbiana cuando la matriz vegetal ha sido masticada y degradada. La actividad lipolítica se ve influenciada por el estado de madurez del forraje y el contenido en nitrógeno y por el tamaño de las

partículas alimenticias en el rumen (Jenkins, 1993), pero generalmente no es un paso limitante de la digestión ruminal de las grasas. Elliot et al. (1999) y Beam et al. (2000) han demostrado que la velocidad de hidrólisis ruminal está directamente relacionada con el grado de insaturación; los aceites son hidrolizados más rápidamente que el sebo y no se detecta hidrólisis alguna de glicéridos saturados (hidrogenados). Curiosamente, el aceite de pescado es hidrolizado a niveles comparables al sebo; quizás esto sea debido a la disposición especial de los ácidos grasos de cadena larga (C20-C22) insaturados de estos lípidos. Por otra parte, Van Nevel y Demeyer (1996) observaron que la lipólisis disminuía para pH ruminales inferiores a 6 y que este proceso era más sensible a valores de pH bajos. Siendo la lipólisis un paso esencial para la biohidrogenación, entonces, los factores que afectan a la lipólisis, afectan el grado de biohidrogenación puesto que la disponibilidad del grupo carboxilo es necesario para el proceso (Demeyer y Henderickx, 1967).

Los ácidos grasos insaturados no esterificados producidos durante la lipólisis son muy tóxicos para las bacterias gram-positivas (celulolíticas), las bacterias metanogénicas y los protozoos (Broudiscou et al., 1994) ya que por sus características poseen una acción detergente para la membrana celular microbiana (Garnsworthy, 2002).

En el rumen tienen lugar varios procesos que tienden a reducir esa toxicidad, por ejemplo, mientras que los lípidos esterificados se encuentran principalmente en el fluido ruminal, los ácidos grasos aparecen asociados a la superficie de las partículas;

las células microbianas y las partículas alimenticias compiten por la adsorción de los ácidos grasos (Harfoot et al., 1974). Aumentando la cantidad de partículas alimenticias (vgr. forrajes) en el contenido ruminal, disminuye la adsorción de ácidos grasos sobre los microorganismos disminuyendo así su efecto tóxico.

Un mecanismo adicional que reduce los efectos tóxicos de los ácidos grasos es la formación de sales insolubles carboxiladas (principalmente jabones cálcicos). Los ácidos grasos del sebo generalmente no inhiben la digestión de la fibra cuando se suministran en forma de sales insolubles de calcio (Zinn y Plascencia, 1992; Weiss y Wyatt, 2004).

Sin embargo, el proceso de detoxificación de mayor importancia lo es la biohidrogenación ya que es el mecanismo mediante el cual los microorganismos ruminales saturan los AG insaturados C18 hasta ácido esteárico (Polan et al., 1964) y los ácidos grasos saturados son menos tóxicos para los microorganismos ruminales que los insaturados. De hecho, las bacterias ruminales almacenan los lípidos primariamente en forma de ácidos grasos saturados.

Aunque la capacidad de hidrogenar numerosos isómeros posicionales ha sido descrita (Harfoot y Hazlewood, 1997), el modelo de mayor interés es la biohidrogenación del ácido linoleico (cis 9, cis12 18:2) como a continuación se describe:

- 1) isomerización a cis 9, trans 11 18:2
- 2) reducción a trans 11 18:1
- 3) reducción a 18:0 (ácido esteárico).

A menudo en el paso 3 intervienen microorganismos diferentes a los de los pasos 1 y 2. Además, bajo determinadas condiciones de alimentación (alto nivel de aceites, baja proporción de forrajes, pH bajo), la acumulación de t11 18:1 puede ser importante. El primer intermediario, c9, t11 18:2 ("ácido linoleico conjugado" o "CLA") se acumula en cantidades más bajas. Su interés actual es grande ya que es un potencial agente anticancerígeno (Jiang et al., 1996).

Algunos de los factores de mayor importancia que afectan la tasa de biohidrogenación son el pH ruminal (Van Nevel y Demeyer, 1996b) población microbiana (Latham et al., 1972), naturaleza de los lípidos consumidos (Byers y Shelling, 1988; Jenkins, 1993) y tasa de pasaje (recambio ruminal de ácidos grasos; Harfoot y Hazlewood, 1997) entre otros.

Digestión intestinal. Como se ha mencionado previamente, la digestibilidad es el factor más importante que determina el valor energético de las grasas. Los rumiantes están bien adaptados a absorber pequeñas cantidades de grasas muy saturadas (menos del 3% de la materia seca) en dietas normales. Los ácidos grasos que llegan al intestino son altamente saturados (>85%, Zinn et al., 2000) y están adsorbidos sobre

las partículas alimenticias (Pantoja et al., 1996; Wachira et al., 2000), estas características hacen necesario un efectivo sistema de emulsificación para posibilitar la absorción de los AG a nivel intestinal, de hecho, el principal factor que afecta la absorción de grasas en rumiantes es la presencia de bilis (Merchen, 1988). El jugo biliar en rumiantes contiene de 5000 a 8000 mg/100 mL de ácidos biliares los cuales, a diferencia de los no rumiantes, son ricos en ácido taurocólico (proporción 2.4:1; Peric-Golia y Socic, 1968), éstos permanecen ionizados y solubles en el tramo de pH ácido del duodeno (1.8-2.4, Ruckebusch et al., 1991), actuando como detergentes para emulsificar los ácidos grasos. La fosfolipasa de las secreciones pancreáticas separa el ácido oleico de los fosfolípidos secretados en la bilis. Las lisolecitinas y el ácido oleico resultantes son poderosos emulsionantes que facilitan la solubilización de los ácidos grasos y la formación de micelas, a partir de las cuales los ácidos grasos son absorbidos (Moore y Christie, 1984).

Existe cierta polémica con relación a los efectos de la cantidad y composición de la grasa de la dieta sobre la digestibilidad de los ácidos grasos. Estudios iniciales demostraron que la digestibilidad de los ácidos grasos disminuía cuadráticamente al aumentar el consumo (Palmquist, 1991; Wu et al., 1991; Weisbjerg et al., 1992; Zinn, 1994). Desde el punto de vista fisiológico, la digestibilidad debería disminuir en forma lineal con consumos muy altos, dada la dependencia clara de las sales biliares para promover la solubilización de los ácidos grasos muy saturados. La producción biliar en ovejas se ha determinado en un rango de 0.5 a 1.45 mL/kg de peso vivo

(Harrison, 1962; Moore y Christie, 1984; Merchen, 1988) y por ser el flujo a duodeno más o menos constante en rumiantes (Cant et al., 1999) parece ser independiente de la hora y frecuencia de alimentación (Symonds et al., 1982). Considerando que la digestibilidad de la mayoría de los nutrientes disminuye a medida que el consumo de esos nutrientes se incrementa, con altos consumos de grasa, las secreciones endógenas se diluyen y por lo tanto se espera una disminución en su digestibilidad.

Por otra parte, la digestibilidad de los ácidos grasos saturados también depende de la longitud de la cadena. Así, el ácido palmítico es más digestible que el esteárico (Weisbjerg et al., 1992). Adicionalmente, en el intestino existen distintas proporciones de 16:0/18:0 y 18:1/18:0 en función del tipo de grasa de la dieta y estas relaciones influyen sobre la digestibilidad de la grasa (Zinn et al., 2000).

Factores que inciden en la digestibilidad de las grasas

El asignar individualmente un valor energético por fuente o tipo de grasa es difícil. Una revisión de estudios de digestibilidad y de comportamiento muestran una variación sustancial en los valores estimados de su contenido de energía, por otra parte, el principal problema cuando las distintas fuentes de grasas son comparadas, estriba en que las grasas adicionadas en las dietas para rumiantes generalmente no exceden del 6% de la materia seca y la precisión obtenida en esos estudios no permite detectar diferencias tan pequeñas (menos del 10%) en el valor nutrimental de las

grasas comparadas. De cualquier forma, se puede observar que de acuerdo a la naturaleza de las grasas, se deduce que al comparar distintas fuentes, básicamente se comparan características tales como la cantidad de AGL, el grado de saturación y la proporción de insaturados:saturados.

Ácidos grasos libres (AGL). Son ácidos grasos no esterificados con glicerol. En grasas y aceites, la presencia de niveles altos de AGL puede indicar un almacenamiento o un manejo inapropiado de la grasa (Valenzuela, 1995). La hidrólisis puede ocurrir en forma de lipólisis enzimática durante el almacenamiento o previo al procesamiento para su obtención, o presentarse como resultado de una hidrólisis autocatalítica denominada rancidez oxidativa (Barreras-Arellano, 1998).

El efecto del nivel de AGL en la dieta sobre el comportamiento productivo ha sido estudiado en la mayoría de las especies, especialmente en pollos de engorda. Existen indicios en rumiantes en los cuales los AGL pueden ser menos digestibles que los triglicéridos. En un estudio conducido por Czerkawski et al. (1973) observaron diferencias en la digestión del aceite de semilla de lino dependiendo si se agregaba a la dieta como triglicérido (85% digerido) o en forma de ácidos grasos libres (64% digerido). En contraste, Zinn (1989a,b) no detectó diferencias significativas cuando comparó grasa amarilla, que es una fuente baja en AGL (10%), con una mezcla de grasa animal-vegetal (50% AGL) las cuales fueron adicionadas en dietas de finalización para bovinos a niveles de 4 y 8%.

Una de las características de los lípidos que ingresan al intestino en rumiantes, es que en su gran mayoría (>85%) son en forma no esterificada lo que debilita dicha teoría, al menos para esta especie. Una explicación más aceptable cuando se observan respuestas positivas con grasas de mayor contenido de AGL es aquella de que los AGL inhiben la tasa de biohidrogenación ruminal (Noble et al., 1974) lo que aumenta el flujo hacia el duodeno de ácidos grasos de mayor digestibilidad (insaturados), sin embargo esta teoría no ha sido consistente.

Proporción de insaturados:saturados. Aunque existe limitada información para ganado de engorda, estudios *in vitro* (Henderson, 1973; Maczulak et al., 1981) han demostrado que los ácidos grasos insaturados juegan un papel más activo en la inhibición de las bacterias ruminales, particularmente celulolíticas. De los ácidos grasos insaturados evaluados, el oleico (C18:1) fue el mas inhibidor. Considerando que las bacterias celulolíticas participan menos en la función digestiva del ganado con dietas de finalización, se ha pensado que los efectos de la proporción de ácidos insaturados estarían limitados en esas condiciones. No obstante lo anterior, se han llevado a cabo varias pruebas de comportamiento y de digestión en bovinos de engorda alimentados con dietas altas en energía con la finalidad de comparar grasas con alto grado de saturación contra aquellas de menor grado de saturación. Por ejemplo, Brandt y Anderson (1990) cuando compararon sebo de res y grasa amarilla observaron respuestas similares y positivas para ambas fuentes de grasa en un primer experimento, mientras que en el segundo, el comportamiento en los novillos que

recibieron las dietas que contenían grasa amarilla, el consumo y ganancia fue marcadamente menor que aquella dieta que contuvo sebo. Los resultados obtenidos por Brandt y Anderson (1990) son desconcertantes, considerando que en ambos experimentos el nivel de adición fue bajo (3.5%) y las dietas y fuentes de grasa similares.

La mayoría de los estudios no han detectado diferencias entre ambas fuentes de grasa aún cuando se han añadido en niveles de 6% o más (Robert y McKirdy, 1964; Zinn, 1989a,b,1992).

En general, con el incremento de saturación de una fuente de grasa en particular (por ejemplo mediante hidrogenación) se disminuyen los efectos negativos sobre la fermentación ruminal, pero también se reduce la digestibilidad intestinal de los ácidos grasos. En ese sentido, se han demostrado disminuciones en la digestibilidad de los ácidos grasos de sebo de res de 74% para sebo de res nativo a 37% para sebo altamente hidrogenizado (Macleod y Buchanan-Smith, 1972; Elliott et al., 1999) y reducciones en 23% en la digestibilidad de la grasa amarilla cuando esta se ofrece en forma hidrogenada (Jenkins y Jenny, 1989). Esto no debe ser generalizado entre diferentes fuentes de grasa con grado distinto de saturación. Por ejemplo, Bock et al. (1991) no detectaron diferencias en la digestibilidad intestinal de los ácidos grasos (promedio 75%) del extracto de jabón de aceite de soya (proporción de insaturados:saturados de 3.7) comparado con el sebo de res (proporción de

insaturados:saturados de 1.65) los cuales se adicionaron a una dieta de finalización que contenía 78% de trigo quebrado.

La atenuación de los efectos de la proporción de insaturados:saturados contenidos en las grasas que comúnmente se adicionan a las dietas para rumiantes, se debe principalmente al grado de biohidrogenación elevado que sufren los AG insaturados en su estancia en rumen, aumentando de esta manera la cantidad de AG saturados que llegan al intestino (Jenkins, 1993).

Aún cuando la tasa de biohidrogenación de C18:1 aparentemente no está influenciada por el nivel de ácidos grasos consumidos (Duckett et al., 2002), estudios realizados *in vitro* por Beam et al. (2002) observaron que por cada unidad porcentual incrementada de C18:2 en la dieta, la tasa de biohidrogenación de ese ácido graso disminuía en 0.12%/h. Considerando que la lipólisis ruminal de los triglicéridos es intensa (>90% / 60 min; Inming et al., 1993), el grado de biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados es también intensa y se encuentra en un rango entre 60 y 93%, con una media de 70% para grasas no protegidas (Hawke y Silcock, 1970; Wu et al., 1991, Pantoja et al., 1996, Plascencia et al., 1999b; Zinn et al., 2000; Wachira et al., 2000) y de 47 a 57% de las grasas protegidas (Klusmeyer y Clark, 1991; Wu et al., 1991; Doreau et al., 1999; Zinn et al., 2000). Lo anterior se refleja en forma directa en la proporción y tipo de ácido graso que fluye a duodeno.

La mezcla de grasas saturadas (sebo) con insaturadas (aceite de soya) ha resultado en efectos asociativos positivos en el valor nutrimental de las grasas suplementarias para ganado de engorda (Brandt y Anderson, 1990), esta respuesta es atribuida a que potencialmente los ácidos grasos insaturados pueden aumentar la absorción intestinal de los ácidos grasos saturados (Elliott et al., 1997; Zinn et al, 2000). Zinn et al. (2000) observaron que al disminuir el índice de biohidrogenación mediante la protección de la grasa con una matriz de formaldehído-proteína mejoró la digestión intestinal de los AG totales (87.8 vs. 80.3%), adicionalmente detectaron que por cada 1% de incremento en la proporción de los AG insaturados en relación a la totalidad de los AG que llegan a intestino, la digestibilidad de C18:0 aumentaba en 1% ($\text{Digestibilidad de C18:0} = 85.72 + 1.01P18:1 - 15.84FI$, donde P18:1 es el C18:1 ingresando al intestino expresado como porcentaje del total de los AG que llegan a duodeno, $r^2 = .99$). Apoyados en el concepto de que la digestión intestinal de los ácidos grasos saturados disminuye a medida que la longitud de su cadena aumenta (Steele y Moore, 1968), es razonable esperar entonces, que el ácido palmítico (C16:0) tiene condiciones más favorables para mostrar un efecto sinérgico mayor con los ácidos grasos insaturados a nivel posruminal que el ácido esteárico (C18:0). En ese sentido, Plascencia et al. (2003) evaluaron una fuente de grasa rica en palmítico (>97%) protegida con formaldehído mezclada al 50% con grasa amarilla la cual es rica en insaturados (>65%) añadida a un nivel de 5% de la dieta. La combinación resultó en una mejora de la digestibilidad intestinal de los ácidos grasos de 5% cuando se comparó con las fuentes de grasas originales.

Métodos de adición

Debido a sus características físicas las grasas tienden a formar una capa o recubierta en las partículas alimenticias, principalmente fibra (Devendra y Lewis, 1974). De hecho aproximadamente un 80% de total de lípidos en el rumen está en forma asociada a partículas (McAllan et al., 1983) y de 40 a 75% de las bacterias está adherido a las partículas alimenticias (Owens y Goetsch, 1988).

Esto hace que por cubrimiento físico y propiedades hidrófobas de las grasas se pueda ejercer un efecto inhibitorio a la acción enzimática bacteriana interfiriendo en los procesos normales de fermentación (Devendra y Lewis, 1974) y afectando, por efectos asociativos, el valor nutrimental de las grasas alimenticias. Zinn et al. (1998) evaluaron la adición de grasa amarilla añadida primeramente al grano (maíz en hojuela) y el producto resultante se mezclaba con el resto de los ingredientes de la dieta o bien, la grasa amarilla era añadida al final del mezclado.

En ambas situaciones la cantidad final de grasa en la dieta fue de 5%. No se detectaron diferencias entre los métodos de adición sobre los parámetros digestivos o el comportamiento productivo del ganado. En virtud de que el punto de fusión de las grasas afecta su grado de lipólisis (Beam, 2000), entonces una fuente de grasa de mayor punto de fusión pudiese tener un efecto diferente en cuanto a su método de adición. El realizar mezcla de grasa-forraje también ha sido evaluado en dietas de

finalización para bovinos en engorda. En ese sentido, una mezcla de 80% de alfalfa con 20% de grasa fue utilizada en 15, 30 y 45% en dietas de finalización. La dieta que incluyó la mezcla al nivel de 15% contuvo 71% de trigo en hojuela, mientras que las dietas que utilizaron los niveles de 30 y 45%, éstas se incluyeron sustituyendo en proporción idéntica al trigo en hojuela. El sustituir el grano con la mezcla alfalfa-grasa no afectó el consumo o la ganancia diaria, sin embargo, la EN contenida de la dieta disminuyó en forma lineal al aumentar la proporción de la mezcla en la dieta. De igual manera, la digestibilidad intestinal de los ácidos grasos se vio afectada a medida que se aumentaba la mezcla en la ración. Se concluyó que la cantidad de grasa consumida fue el factor principal que limitó el contenido de EN y la digestibilidad de los AG mientras que el método de adición no tuvo un papel relevante en los resultados (Plascencia y Zinn, 2002).

Con la finalidad de comprobar los resultados obtenidos en los estudios anteriores se realizó un experimento de comportamiento productivo con 216 novillos (Zinn y Plascencia, 2004). En la prueba se evaluaron 3 métodos (ácidos grasos de sebo añadido en el grano, en el forraje o en la ración completa) con tres niveles de inclusión (3, 6 y 9%). El aumento del nivel de grasa en la dieta disminuyó el consumo, la ganancia diaria y la EN de la grasa en forma lineal, el método de adición no afectó la EN de la grasa. De nueva cuenta el nivel de consumo fue el factor primordial mientras que el método de adición no mostró efectos asociativos sobre el valor nutrimental de la grasa adicionada.

Nivel de inclusión

Las recomendaciones para el uso de grasas alimenticias para dietas de rumiantes indican que ésta no deben exceder el 5% de la dieta, puesto que se han observado efectos detrimentales sobre consumo y eficiencia alimenticia cuando la grasa se incluye a las dietas con niveles superiores al 5% (Haaland et al., 1981; Ngidi et al., 1990; Zinn, 1994). Sin embargo, las restricciones prácticas para su óptima utilización no han sido aún resueltas, ya que se han registrado casos negativos en comportamiento productivo con niveles de inclusión igual o menor al 3% (Hatch et al., 1972; Krehbiel et al., 1995), mientras que niveles de 8% han resultado en ganancias y conversiones superiores con relación a animales no suplementados (Zinn, 1989a). Lo anterior se refleja en una variabilidad del valor nutrimental observado para la energía neta (EN) de la grasa que oscila de 3.77 y 2.95 (Clary et al., 1993) hasta 6.35 y 5.15 Mcal/kg (Plascencia et al., 2002) de EN para mantenimiento y EN para ganancia, respectivamente (Cuadro 2). De cualquier forma, una respuesta generalizada cuando se aumenta el nivel de grasa en la dieta es la disminución del valor energético de la grasa. Por ejemplo, Zinn y Plascencia (2004) informan que cuando se aumentó el nivel de grasa de 3 a 9% en una dieta de finalización para novillos, se observaron disminuciones en el consumo, ganancia diaria y conversión alimenticia. La EN de la dieta resultó en 103% para el nivel de 3% y declino a 90% cuando la grasa fue añadida en un 9% en la dieta. La EN calculada de la grasa declinó de 6.4 Mcal/kg a 3.44 Mcal/kg. Lo anterior se ha atribuido principalmente a variaciones en la tasa de

digestión intestinal de lípidos (Wu et al., 1991; Zinn, 1994). El valor de la energía bruta (EB) para las grasas es de 9.4 Kcal/g; sin embargo, el valor combustible "utilizable" por los tejidos debe de considerarse a partir de su digestibilidad. Las grasas de grado alimenticio contienen aproximadamente 90% de ácidos grasos totales (AFOA, 1999), y éstos representan casi el 100% de su contenido energético (Zinn, 1989a); Por lo tanto, el valor energético de las grasas está supeditado a la digestibilidad de sus ácidos grasos la cual es aproximadamente del 77% (Cuadro 3). Bauchart (1993) indica un 80% de digestibilidad para los AG saturados y de 93% para los insaturados cuando se consumen dietas con moderado contenido de lípidos (2-3%).

Cuadro 2. Comparación del Contenido de ENm y ENg (Mcal/kg) de grasas alimenticias estimado por medio de la técnica de remplazo^a en novillos con dietas de finalización

ENm	ENg	Nivel adicionado en la dieta, %	Fuente
6.35	5.15	1.5	Plascencia et al., 2002
6.20	4.53	4	Zinn, 1988
6.06	4.90	3	Plascencia et al., 2002
6.02	4.77	5	Zinn, 1992
5.82	4.69	6	Zinn et al., 2000
5.78	4.61	6	Zinn, 1989a
5.55	4.46	4	Ramirez y Zinn, 2000
5.34	4.41	3.5	Brandt y Anderson, 1990
5.54	4.38	3	Richards et al., 1998
5.33	4.30	6	Zinn y Plascencia, 2004
4.98	3.85	5	Plascencia et al., 1999b
4.92	3.90	6	Plascencia y Zinn, 2001
4.78	3.87	5	Zinn y Shen, 1996
4.63	3.50	6	Zinn y Plascencia, 1996
4.38	3.45	5	Zinn et al., 1998
3.77	2.		

Cuadro 3. Digestibilidad posruminal de las distintas fuentes de grasa

Tipo de grasa ^a	Nivel adicionado, %	Digestibilidad, %	Fuente
MAV	3.0	73.8	Wu et al., 1991
GA	3.0	76.2	Plascencia et al., 2002
GA	3.0	82.0	Plascencia y Zinn, 2002
SV	3.5	77.1	Bock et al., 1991
GA	4.0	80.0	Zinn, 1989b
GA	4.0	79.1	Zinn, 1988
TG	5.0	76.0	Elizalde et al., 1999
GA	5.0	80.2	Zinn Y Shen, 1996
SV	5.0	72.0	Ramirez y Zinn, 2000
GA	5.0	84.2	Plascencia y Zinn, 1992
GA	5.0	75.5	Zinn y Plascencia, 1993
GA	5.0	84.2	Plascencia y Zinn, 1992
SV	5.5	81.2	Palmquist et al., 1993
GA	6.0	77.5	Plascencia et al., 1991
MAV ^b	6.0	66.9	Wu et al., 1991
GA	6.0	75.6	Plascencia y Zinn, 2002
GA	6.0		

Conclusiones

Como resultado de la literatura revisada en este documento se puede concluir que:

- 1) La digestibilidad intestinal de los AG es el factor principal que determina el valor nutrimental de la grasa en los rumiantes.
- 2) La cantidad de lípidos consumidos, más que el nivel de adición de grasa a la dieta, es el factor de mayor relevancia que incide sobre la digestibilidad de los AG.
- 3) Las diferencias en el perfil de ácidos grasos y contenido de AGL de las distintas fuentes de grasas alimenticias aparentemente tiene poco impacto sobre el valor nutrimental de la grasa en rumiantes dado por la extensiva biohidrogenación a nivel ruminal, Sin embargo, la inconsistencia de los estudios revisado y dado que la proporción de insaturados:saturados que fluye a duodeno parece ser un factor de mayor relevancia, hace necesario la reevaluación de los tipo de grasa sobre su digestibilidad.
- 4) El método de adición de grasa a la ración (orden de incorporación y mezcla previa de ingredientes) ha mostrado hasta ahora no ser factor importante, sin embargo estudios donde se valore grado de saturación y método de adición no han sido conducidos.

Literatura Citada

- AFOA. 1999. Trading and Arbitration Rules. American Fats and Oils Association, Inc. New York.
- Atteh, J.O., and S. Lesson. 1985. Influence of age dietary cholic acid and calcium levels on performance, utilization of free fatty acids and bone mineralization in broilers. Poultry Sci. 64:1959-1971.
- Avila, C.D., E.J. De Peters, H. Perez-Monti, S.J. Taylor, and R.A. Zinn. 2000. Influences of saturation ratio of supplemental dietary fat on digestion and milk yield in dairy cows. J. Dairy Sci. 83:1505-1519.
- Barreras-Arellano, D. 1998. Estabilidad y utilización de nitrógeno en grasas y aceites. Instituto de la grasa (CSIC) Revista Grasas y Aceites. 49:56-64. España.
- Bauchart, D. 1993. Lipid absorption and transport in ruminants. J. Dairy Sci. 76:3864-3881.
- Beam, T.M., T.C. Jenkins, P.J. Moate, R.A. Khon, and D.L. Palmquist. 2000. Effects of amount and source of fat on the rates of lipolysis and biohydrogenation of fatty acids in ruminal contents. J. Dairy Sci. 83:2564-2573.
- Bock, B.J., D.L. Harmon, Brandt, R.T. Jr. and J.E. Schneider. 1991. Fat source and calcium level effects on finishing steer performance, digestion, and metabolism. J. Anim. Sci. 69:2211-2224.
- Børsting, C.F., M.R. Weisbjerg, and T.H. Hvelplund. 1992. Fatty acid digestibility in lactating cows fed increasing amounts of protected vegetable oil, fish oil or saturated fat. Acta. Agric. Scand., Sect. A. Animal Sci. 42:148-156.
- Brandt Jr, R. T., 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. 68:2208-2216.
- Byers, F.M., and G.T. Shelling, 1988. Lipids in ruminant nutrition. Page 298 in The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition. D.C. Church, ed. Prentice-Hall, New Jersey.

- Cant, J.P., P.H. Luimes, T.C. Wright, and B.W. McBride. 1999. Modeling intermittent digesta flow to calculate glucose uptake capacity of the bovine small intestine. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 276:1442-1451.
- Cera, K.R., D.C. Mahan, and G.A. Reinhart. 1989. Apparent fat digestibilities and performance response of postweaning swine fed diets supplemented with coconut oil, corn oil, or tallow. *J. Anim. Sci.* 67:2040-2047.
- Christie, W.W. 1973. The structures of bile phosphatidylcholines. *Biochim. Biophys. Acta.* 316:204-211.
- Christiansen, M.L., and K.E. Webb, Jr. 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.* 68:2105-2118.
- Clary, E.M., R.T. Brandt, Jr., D.L. Harmon, and T.G. Nagaraja. 1993. Supplemental fat and ionophores in finishing diets: Feedlot performance and ruminal digesta kinetics. *J. Anim. Sci.* 71:3115-3123.
- Czerkawsky, J.W. 1973. Effect of linseed oil fatty acids and linseed oil rumen fermentation in sheep. *J. Agric. Sci.(Camb.)* 81:517-531.
- Czerkawsky, J. W., L. Blaxter, and F. W. Wainman. 1966. The metabolism of oleic, linoleic and linolenic acids by sheep with reference to their effects on methane production. *Br. J. Nutr.* 20:349-361.
- Coppock, C.E. and D.L. Wilks. 1991. Supplemental fat in high-energy rations for lactating cows: Effects on intake, digestion, milk yield, and composition. *J. Anim. Sci.* 69:3826-3837.
- Demeyer, D.I., and H.K. Henderickx. 1967. The effect of C18 unsaturated fatty acids on methane production in vitro by mixed rumen bacteria. *Biochim. Biophys. Acta.* 137:484-497.
- Devendra, C.A., and D. Lewis. 1974. Interaction between dietary lipids and fiber in the sheep. *Anim. Prod.* 19:67-76.
- Doreau, M., and A. Ferlay. 1994. Digestion and utilization of fatty acids by ruminants.

- Anim. Feed Sci. Technol.45:379-396.
- Doreau, M., A. Ferlay, and Y. Elmeddah. 1993. Organic matter and nitrogen digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil. J. Dairy Sci.71:499-504.
- Doreau, M., Y. Chilliard, H.Rulquin, and D.I. Demeyer. 1999. Manipulation of milk fat in dairy cows. Page 81 in Recent Advances in Animal Nutrition. P.C. Garnsworthy and J. Wiseman, ed. Nottingham University Press.
- Duckett, S.K., J. G. Andrae, and F. N. Owens.2002. Effect of high-oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets J. Anim. Sci. 2002. 80:3353-3360.
- Elliott, 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.75:2803-2812.
- Elliott, J. P., J. K. Drackley, A.D. Beaulieu, G.C. Aldrich, and N.R. Merchen. 1999. Effect of saturation and esterification of fat sources on site and extent of digestion in steers: Digestion of fatty acids, triglycerides, and energy. J. Anim Sci. 77:1919-1929.
- Enjalbert, F., M.C. Nicot, C. Bayourthe, and R. Moncoulon. 2000. Effect of duodenal infusion of palmitic, stearic or oleic acids on milk composition and physical properties of butter. J. Dairy Sci. 83:1428-1433.
- Ferlay, J. Chabrot, Y. Elmeddah, and M. Doreau.1993.Ruminal lipid balance and intestinal digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil.J. Anim Sci. 71: 2237-2245.
- Frandsen, R.D., and T.L. Spurgeon.1992. Anatomy and Physiology of Farms Animals (5th ed.). Waverly Inc, Maryland.
- Garnsworthy, P.C. 2002. Fats in dairy cow diets.Page 399 in Recent Developments in Ruminant Nutrition 4. J. Wiseman and PC Garnsworthy (Ed). Nottingham University Press. Hampshire, Engl.
- Garret, W. N. 1980. Energy utilization of growing cattle as determined in seventy-two

- comparative slaughter experiments. Page 3 in Energy Metabolism. Butterworths, London, England.
- Haaland, G.L., J.K. Matsushima, D.E. Johnson and G.M. Ward. 1981. Effect of replacement of corn by protected tallow in a cattle finishing diet on animal performance and composition. *J. Anim. Sci.* 52:696-702.
- Hamilton, C.R. 2002. Value of animal fats and recycled greases in animal feeds. Darling International Inc. pp.1-17. Irving Tx.
- Harfoot, G.C., M.L. Crouchman, R.C. Noble, and J.H. Moore, 1974. Competition between food particles and rumen bacteria in the uptake of long-chain fatty acids and triglyceride. *Appl. Bact.* 37:633-641.
- Harfoot, G.C., and G.P. Hazlewood. 1997. Lipid metabolism in the rumen. Page 382 in *The rumen microbial ecosystem*. P.N. Hobson, ed. Elsevier Applied Science. London, New York.
- Harrison, F.A. 1962. Bile secretion in the sheep. *J. Physiol.* 162:212-224.
- Harrison, F.A. 1995. *Surgical techniques in experimental farm animals*. Oxford University Press, UK.
- Harrison, F.A., and K.L. Hill. 1960. Bile secretion in conscious sheep. *J. Physiol.* 154:610-620.
- 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.* 34:483-487.
- Henderson, C. 1973. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 81:107-112.
- Huffman, R.P., R.A. Stock, M.H. Sindt, and D.H. Shain. 1992. Effect of fat type and forage level on performance of finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 70:3889-3898.
- Inming, I., C. Van Nevel, and D.I. Demeyer. 1993. Lipolysis and hydrogenation of soybean oil in the rumen of sheep. *Proceeding of Society Nutrition Physiology*. pp 59.
- Jenkins, T.C. 1990. Nutrient digestion, ruminal fermentation and plasma lipids in steers

- fed combinations of hydrogenated fat and lecithin. *J. Dairy Sci.* 73: 2934-2939.
- Jenkins, T.C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 76:3851-3863.
- Jenkins, T.C., and B.L. Jenny. 1989. Effect of hydrogenated fat on feed intake, nutrient digestion, and lactational performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:2316-2324.
- Jenkins, T.C., and N. Fotohui. 1990. Effects of lecithin and corn oil on site of digestion, ruminal fermentation and microbial protein synthesis. *J. Anim. Sci.* 68:460-466.
- Jiang, J., L. Bjoerck, R. Fonden, and Y. M. Emanuelson. 1996. Occurrence of conjugated cis-9,trans-11-octadecadienoic acid in bovine milk: effects of feed and dietary regimen. *J. Dairy Sci.* 79: 438-445.
- 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.* 34:501-509.
- Khorasani, G.R., G. de Boer, P.H. Robinson and J.J. Kennely. 1992. Effect of canola fat on ruminal and total tract digestion, plasma hormones and metabolites in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:492-501.
- Klusmeyer, T. H., and J. H. Clark. 1991. Effects of dietary fat and protein on fatty acids flow to the duodenum and milk produced by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3055-3067.
- Krehbiel, C.R., R.A. McCoy, R.A. Stock, T.J. Klopfenstein, D.H. Shain, and R.P. Huffman. 1995. Influence of grain type, tallow level, and tallow feeding system on feedlot cattle performance. *J. Anim. Sci.* 73:2916-2921.
- Latham, M.J. J.E. Storry, and M.E. Sharpe. 1972. Effect of low-roughage diet on the microflora and lipid metabolism in the rumen. *Appl. Microbiol.* 24:871-877.
- Lofgreen, G.P. 1965. Net energy of fat and molasses for beef heifers with observations on method for net energy determination. *J. Anim. Sci.* 24:480-487.
- MacLeod, G.K. and J.G. Buchannan-Smith. 1972. Digestibility of hydrogenated

- acids on growth of rumen bacteria. *Appl. and Environ. Microbiol.* 42:856-862.
- McAllan, A.B., B.R. Knight, and J.D. Sutton. 1983. The effect of free and protected oils on the digestion of dietary carbohydrates between the mouth and duodenum of sheep. *Br. J. Nutr.* 48:433-440.
- Merchen, N.R. 1988. Digestion, absorption and excretion in ruminants. Page 174 in *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition*. D.C. Church, ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- Moore, J.A., R.S. Swingle and W.H. Hale. 1986. Effects of whole cottonseed, cottonseed oil or animal fat on digestibility of wheat straw diets by steers. *J. Anim. Sci.* 63:1267-1273.
- Moore, J. H., and W.W. Christie. 1984. Digestion, absorption and transport of animal fats in ruminant animal. Page 123 in *Fats in Animal Nutrition*. J. Wiseman, ed. Butterworths, London, Engl.
- Nelson, M. L., H. H. Westberg, and S. M. Parish. 2001. Effects of tallow on the energy metabolism of wethers fed barley finishing diets. *J. Anim. Sci.* 79:1892-1904.
- Ngidi, M.E., S.C. Loerch, F.L., Fluharty, and D.L. Palmquist. 1990. Effect of calcium soaps of long-chain fatty acids on feedlot performance carcass characteristics and ruminal metabolism in steers. *J. Anim. Sci.* 68:2555-2565.
- Noble, R.C., J.H. Moore, and C.G. Harfoot. 1974. Observations of the pattern of biohydrogenation of sterified and unesterified linoleic acid in the rumen. *Br. J. Nutr.* 31:99-108.
- NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. National Academy of Sciences Press. Washington, DC.
- Owens, F.N., and A.L. Goetsch. 1988. Ruminal fermentation. Page 145 in *The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition*. D.C. Church, ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- Palmquist, D. L. 1991. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 74:1354-13

- hydrolyzed blended fat at two intakes. *J. Dairy Sci.* 63, 391-395.
- Palmquist, D.L., M.R. Weisbjerg, and T. Hvelplund. 1993. Ruminal, intestinal, and total tract digestibilities of nutrients in cow fed diets high in fat and undegradable protein. *J. Dairy Sci.* 76:1356-1364.
- Pantoja, J., J L. Firkins, and M. L. Eastridge. 1995. Site of digestion and milk production by cows fed fats differing in saturation, esterification, and chain length. *J. Dairy Sci.* 78: 2247-2258.
- Pantoja, J., J. L. Firkins, and M. L. Eastridge. 1996. Fatty acid digestibility and lactation performance by dairy cow fed fats varying in degree of saturation. *J. Dairy Sci.* 79:429-437.
- Peric-Golia, L., and C. Socic. 1968. Biliary bile acids and cholesterol in developing sheep. *Am. J. of Physiol.* 215:1284-1287.
- Plascencia, A., E. Alvarez y R.A. Zinn. 1991. Efecto de lecitina y grasa suplementaria sobre digestión de nutrientes y fermentación ruminal en dietas para cabras lactantes. *Rev. Cs. Agrop.* 3:49-58.
- Plascencia, A., A. Barreras y R.A. Zinn. 1999a. Adición de grasa suplementaria en sustitución de forraje en dietas para vacas en lactancia: Digestión de nutrimentos y función ruminal. *Vet. Méx.* 30:135-141.
- Plascencia, A., M. Estrada, and R.A. Zinn. 1999b. Influence of free fatty acid content on the feeding value of yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim Sci.* 77:2603-2609.
- Plascencia, A., E. G. Alvarez, M. F. Montano, M. Machado, S. Rodriguez, R. A. Ware, and R. A. Zinn. 2002. Influence of level of intake on the comparative feeding value of fat in finishing diets for feedlot cattle. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 53:613-618.
- Plascencia, A., L. Corona-Gochi, R.A. Ware y R.A. Zinn. 2003. Influencia de la proporción entre ácidos gras

- Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos, Mexicali, B.C., 9-10 octubre, p 185-189.
- Plascencia, A. y R.A. Zinn. 1996. Valor nutrimental de grasas suplementarias en dietas de crecimiento-finalización para novillos en confinamiento. *Vet. Méx.*27:83-88.
- Plascencia, A., and R.A. Zinn. 2001. Comparative feeding value of tallow vs yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 52:566-568.
- Plascencia, A., and R.A. Zinn. 2002. Evaluation of a forage-fat blend as an isocaloric substitute for steam-flaked wheat in finishing diets for feedlot cattle: Growth-performance and digestive function. *Prof. Anim.Sci.*18:247-253.
- Polan, C.C., J.J. McNeill, and S.B. Store. 1964. Biohydrogenation of insaturated fatty acid by rumen bacteria. *J. of Bacteriol.*88:1056-1064.
- Pylot, S. J., J. J. McKinnon, A. F. Mustafa, V. J. Racz, and D. A. Christensen. 2000. Effects of processing and fat content of coarse canola screenings on voluntary intake and total tract nutrient digestibility of beef steers. *Can. J. Anim. Sci.*80:153-159.
- Ramirez, J. E., and R. A. Zinn. 2000. Interaction of dietary magnesium level on the feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 78:2072-2080.
- Richards, C.J., R.A. Stock, T.J. Klopfenstein, and D.H. Shain. 1998. Effect of wet corn gluten feed, supplemental protein, and tallow on steer finishing performance. *J. Anim. Sci.*76:421-428.
- Robert, W.K. and J.A. McKirdy. 1964. Weight gains, carcass fat characteristics and ration digestibility in steers as affected by dietary rapeseed oil, sunflowerseed oil, and animal tallow. *J. Anim. Sci.*63:682-687.
- Steele, W., and J. H. Moore. 1968. The effects of monounsaturated and saturated fatty acids in the diet on milk fat secretion. *J. Dairy Res.* 3

- the pancreatic juice and bile of sheep. *Pol. Arch. Weter.*22:205-217.
- Symonds, H.W., D.L. Mather, and E.D. Hall.1982. Surgical procedure for modifying the duodenum in cattle to measure bile flow and the diurnal variation in biliary manganese, iron, copper and zinc excretion. *Res Vet Sci.*32:6-11.
- Valenzuela, A.B. 1995.Natural antioxidants: A new perspective for the problems or oxidative rancidity of lipids in biotechnology in the feed industry. Lyons T.P. & K.A. Jacques (Ed). *Proc.of Eleven Symp.* London, Eng.
- Van Nevel, C.J., and D.I. Demeyer. 1996. Influences of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents in vitro. *Reprod. Nutr. Dev.* 36:53-63.
- Vila, B., and E.Esteve-Garcia.1996.Studies on acid oils and fatty acids for chickens. II. Effect of free fatty acid content and degree of saturation of free fatty acids and neutral fat on fatty acid digestibility. *Br.Poultry Sci.*37:119-130.
- Wachira, A. M., L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson, K. Hallett, M. Enser, and J. D. Wood. 2000. Rumen biohydrogenation of n-3 polyunsaturated fatty acids and their effects on microbial efficiency and nutrient digestibility in sheep. *J. Agric. Sci.* 135:419–428.
- Weiss, W.P., and D. J. Wyatt. 2004. Digestible energy values of diets with different fat supplements when fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*87:1446-1454.
- Weisbjerg, M.R., T. Hvelplund, and C.F. Børsting.1992. Digestibility of fatty acids in gastrointestinal tract of dairy cows fed with tallow or saturated fats rich in stearic acid or palmitic acid. *Acta Agric. Scand. Sect. A, Anim. Sci.*42:115-120.
- Wu, Z., O. A. Ohajuruka, and D. L. Palmquist. 1991. Ruminal synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3025-3034.
- Xu, C.,

- Page 125 in *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition*. D.C. Church, ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- Zinn, R. A. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *J. Anim. Sci.* 66:213-227.
- Zinn, R. A. 1989a. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: Feedlot cattle growth performance *J. Anim. Sci.* 67:1029-1037.
- 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.* 67:1038-1049.
- 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.* 70:2959-2969.
- Zinn, R. A. 1994. Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth performance and digestive function. *Prof. Anim. Sci.* 10:66-72.
- Zinn, R.A. and A. Plascencia. 1992. Comparative digestion of yellow grease and calcium Soaps of long-chain fatty acids in cattle. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 43:454-457.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71:11-17.
- Zinn, R.A. and A. Plascencia. 1996. Effect of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets. *J. Anim.* 74:1194-1201.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 2004. Influence of level and method of supplementation on the utilization of supplemental fat by feedlot steers. *J. of Anim. and Vet. Adv.* 3:473-477.
- Zinn, R. A. S. K. Gulati , A. Plascencia, and J. Salinas. 2000. Influence of ruminal biohydrogenation on the feeding value of fat in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 78:1738-1746.
- Zinn

supplementation on the utilization of supplemental fat by feedlot steers. Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci. 49:291-296.

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. 74:2303-2309.

Running Head: Fat titer and method of addition on starch digestion in cattle

**INFLUENCE OF FAT TITER AND METHOD OF ADDITION ON CHARACTERISTICS
OF RUMINAL AND TOTAL TRACT DIGESTION**

**A. Plascencia^{1*}, E.G. Alvarez*, H. Dávila-Ramos*, M.F. Montaña*, Y.S.Valdés-
García*, and R. A. Zinn†**

*Universidad Autónoma de Baja California, México

† Department of Animal Science, University of California, Davis 95616

Publicado en Journal of Animal and Veterinary Advances, No. 7: 145-148, 2008

¹ Corresponding Author: Alejandro Plascencia, UABC. email: aplas_99@yahoo.com

ABSTRACT: Twelve Holstein steers (340 ± 7.2 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used to study the influence of fat titer (36 vs. 41°C) and method of fat inclusion (mixed in a portion of steam flaked corn in the proportion 25% fat and 75% corn, prior to adding other ingredients vs. addition of fat to the mixer as the second-to-last step, just before adding molasses) on characteristics of digestion. The basal diet contained 74.4% steam-flaked corn and 5% supplemental fat. There were no treatment effects ($P > 0.10$) on site and extent of OM, starch, N, lipid, and ADF digestion, nor on ruminal VFA molar concentrations. Post-ruminal lipid digestion averaged 69.3%, in close agreement with expected (71%; where fat digestion, % = $83.18 - 4.52FI - .68FI^3$; Zinn, 1994) based on level of fat intake (FI, g/kg of body weight). We conclude that method of fat supplementation does not influence the feeding value of supplemental fat. Differences in titer between fat sources do not modify the characteristics of ruminal starch digestion when fats are coated onto a portion of steam-flaked corn.

Key Words: Yellow grease, Tallow, Steers, Metabolism.

Introduction

Hypothetically, physically coating steam-flaked corn with fat should provide a lipid barrier sufficient to reduce that rate and extent of ruminal starch digestion (Clary et al., 1993; García et al., 2000). These protection might help prevent subclinical acidosis in cattle fed diets contained high levels of processed grain (Owens et al., 1998). However, in a previous study (Zinn et al., 1998), saturating grain with 20% yellow grease did not

influence starch digestion. Failure to affect a response in this case may have been related to the low melting point of the yellow grease. Titer is a measure of the hardness of fat. It is determined by melting the fat and then measuring the congealing temperature in degrees centigrade. The higher the titer value, the harder the fat is at room temperature. Tallow has a higher titer than yellow grease (41 vs. 36°C). Because the titer of tallow is greater than usually encountered within the rumen, its reactivity (rate of ruminal lipolysis) is substantially lower than that of grease (Elliot et al., 1997; Beam et al., 2000). Consequently, saturating steam-flaked corn with tallow might afford greater protection for the starch. The objective of this study was to compare the influence of saturating steam-flaked corn with yellow grease versus tallow on starch and lipid digestion.

Materials and Methods

Twelve Holstein steers (340 ± 7.2 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum (Zinn and Plascencia, 1993) were used in a completely random design experiment. Two sources of supplemental fat (yellow grease versus tallow) and two methods of fat supplementation were evaluated in a 2 x 2 factorial arrangement of treatments. Methods of fat addition were: 1) fat was mixed in a portion of steam flaked corn in the proportion 25% fat 75% steam-flaked corn, and 2) fat was added to the mixer as the penultimate step (just before addition of molasses) in diet preparation. Steers were maintained in individual pens with access to water at all times. Fatty acid profiles of fat sources and composition of the experimental diets are shown in Table 1. Steam-flaked corn which was included at 74% (DMB) into ration was prepared as

follows: A chest situated directly above the rollers (46 x 61cm, corrugated) was filled to capacity (441 kg) with corn and brought to a constant temperature (102° C) at atmospheric pressure using steam (boiler pressure 60 psi). The corn was steamed for 20 min before starting the rollers. Approximately 441 kg of the initial steam-processed grain that exited the rolls during warm-up was not fed to steers on this study. Tension of the rollers was adjusted to provide the indicated flake density (0.31 kg/L). Retention time of grain in steam chamber was approximately 18 min. The steam-flaked corn was allowed to air-dry (5 d) before use in diet preparation. Chromic oxide was added to the diets as an inert digesta marker. Steers were fed equal proportions of their experimental diets at 0800 and 2000 daily. Individual feed intake was restricted to 2.2% SBW. Experimental periods were of 14-d duration. Following a 10-d treatment adjustment period, duodenal and fecal samples were taken from each steers twice daily over a period of four successive days. The time sequence for sampling steers during the collection periods was as follows: d 1, 0750 and 1350; d 2, 0900 and 1500; d 3, 1050 and 1650 and d 4, 1200 and 1800. Individual samples consisted of approximately 500 mL of duodenal chyme and 200 g (wet basis) of fecal material. Fecal samples represented a composite of fecal material which accumulated on the floor slats during a collection interval. Intestinal and fecal samples from each steer, within each period, were composited for analysis. During the final day of each collection period, ruminal samples were obtained from each steer at approximately 4 h postprandial via the ruminal cannula. Ruminal fluid pH was determined and subsequently, 2 mL of freshly prepared 25% (wt/vol) metaphosphoric acid was added to 8 mL of strained ruminal fluid. Samples were then centrifuged (17,000 x *g* for 10 min) and supernatant fluid stored at -

20°C for VFA analysis. Upon completion of the trial, ruminal fluid was obtained from all steers and composited for isolation of ruminal bacteria, via differential centrifugation. The microbial isolates were prepared for analysis by oven drying at 70°C and then grinding with mortar and pestle. Feed, duodenal and fecal samples were prepared for analysis by oven drying at 70°C and then grinding in a lab mill (Micro-Mill®, Bell-Arts Products, Pequannock, NJ). Samples were then oven dried at 105°C until no further weight loss and stored in tightly sealed glass jars. Samples were subjected to all or part of the following analyses: ash, Kjeldahl N, ammonia N (AOAC, 1984); starch (Zinn, 1988); purines (Zinn and Owens, 1986); VFA concentrations of ruminal fluid (gas chromatography; Zinn and Plascencia, 1993); GE (adiabatic bomb calorimetry) and chromic oxide (Hill and Anderson, 1958). Microbial organic matter (MOM) and N (MN) leaving the abomasum were calculated using purines as a microbial marker (Zinn and Owens, 1986). Organic matter fermented in the rumen was considered equal to OM intake minus the difference between the amount of total OM reaching the duodenum and MOM reaching the duodenum. Feed N escape to the small intestine is considered equal to total N leaving the abomasum minus ammonia N and MN and, thus, includes any endogenous contributions. Methane production was calculated based on the theoretical fermentation balance for observed molar distribution of VFA and OM fermented in the rumen (Wolin, 1960). Endogenous urinary energy loss was estimated as $0.10W_{\text{kg}}^{.50}$ (derived from Brouwer, 1965 and NRC, 1984). The trial was analyzed in a completely random design with a 2×2 factorial arrangement treatments (Hicks, 1973).

Results and Discussion

Treatment effects on characteristics of digestion, ruminal pH and VFA profiles are shown in Tables 2 and 3. There were no interactions of fat titer and method of fat inclusion ($P > 0.10$). Microbial synthesis, ruminal and postruminal digestion of OM, starch, N, lipid or ADF were very similar for both methods of supplementation. Zinn et al. (1998) only detected a slight (2.7%, $P < 0.10$) decrease in postruminal digestion of N when saturating a portion of steam-flaked corn with yellow grease.

We hypothesized that if a higher titer fat were adsorbed to grain it might reduce the initial exposure rate of processed grain to the ruminal enzymatic processes. Indeed, numerous studies have noted the depressing effect of added fat on the digestibility of various components of the diet (Zinn and Plascencia, 1993; Elliot et al., 1997; Zinn et al., 2000). It had been postulated that at least part of the depressing effects of fat on digestion was brought about by physical coating of the feed, producing a lipid barrier and thereby impeding access by hydrophilic enzymes. Nevertheless, and notwithstanding how appealing the concept, physical coating with fat (even to the point of saturation), clearly, has no appreciable effect on ruminal starch digestion.

Consistent with previous trials with steers fed a high-energy (Zinn, 1989; Zinn and Plascencia, 1992; Plascencia et al., 1999) and high-forage diets (Moore et al., 1986; Palmquist, 1991), there were no effects ($P > 0.10$) of fat source (yellow grease vs. tallow) on site and extent of OM, starch, N, and ADF digestion, ruminal pH, and VFA

molar proportions. Fat source and method of substitution did not affect post-ruminal lipid digestion. Intestinal digestion averaged 69.3%, in close agreement with expected (71%; where fat digestion, % = $83.18 - 4.52FI - .68FI^3$; Zinn, 1994) based on level of fat intake (FI, g/kg of body weight).

Recently a controversy has arisen about the potential of the unsaturated:saturated proportion contents in fat on the nutrimental value for feedlot cattle. In general, when degree of saturation is increased in a fat source (for example by hydrogenation) the negative effects on ruminal fermentation are reduced, but also intestinal digestibility of fatty acids is reduced. In relation to this, it has been shown that fatty acid digestibility is reduced from 74% for tallow to 37% for high hydrogenated tallow (Macleod and Buchanan-Smith, 1972; Elliott et al., 1999) and reduction of 23% in lipid digestibility was observed when yellow grease was offered in hydrogenated form (Jenkins and Jenny, 1989). However, the latter should not be generalized for different fat sources with different saturation degrees. For example, Bock et al. (1991) did not detect differences in fatty acid intestinal digestibility (average 75%) of soy oil soapstock with a proportion of unsaturated:saturated of 3.7 as compared with tallow (proportion of unsaturated:saturated of 1.65) added to a finishing-wheat ground diet. Likewise, Palmquist (1991) compared 5 different fat sources with different proportions of unsaturated:saturated fat and did not report differences in fatty acid digestibility. Attenuation of effects caused by unsaturated: saturated proportion contained in fat that is commonly added to ruminant diets is due to the high degree of biohydrogenation of unsaturated FA that occurs in rumen (Zinn and Plascencia, 2007). For the latter,

differences between FA proportions that exist among the different sources of supplemental fat are slightest when they reach the small intestine, in such a manner that the proportion of unsaturated: saturated content in the feed has less relevance for ruminants as compared with non-ruminant species (Vila and Esteve-García, 1996; Hamilton, 2002).

Implications

Method of fat supplementation does not influence the feeding value of supplemental fat. Differences in titer between fat sources does not modify the characteristics of ruminal starch digestion when fats are coated onto a portion of steam-flaked corn.

References

- AOAC. 1984. Official methods of analysis (12th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Beam, T.M., T.C. Jenkins, P.J. Moate, R.A. Khon, and D.L. Palmquist. 2000. Effects of amount and source of fat on the rates of lipolysis and biohydrogenation of fatty acids in ruminal contents. *J. Dairy Sci.* 83:2564-2573.
- Bock, B.J., D.L. Harmon, R.T. Brandt Jr., and J.E. Schneider .1991. Fat source and calcium level effects on finishing steer performance, digestion, and metabolism. *J. Anim. Sci.* 69:2211-2224.
- Brouwer, E. 1965. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. Pages 441–433 in *Energy Metabolism*. K. L. Blaxter, ed. EAAP Publ. No. 11, Academic Press,

London.

- Clary, E.M., T.R. Brandt Jr., D.L. Harmon, and T.G. Nagaraja.1993. Supplemental fat and ionophores in finishing diets: Feedlot performance and ruminal digesta kinetics. *J. Anim. Sci.*71:3115-3123.
- Elliot, J.P.,J.K. Drackley, C.G. Aldrich, and N.R. Merchen.1997. Effect of saturation and esterification of fat sources on site and extent of digestion of organic matter, fiber, and nitrogen. *J.Anim.Sci.*75:2803-2812.
- Elliott, J. P., J.K. Drackley, A.D, Beaulieu, C.G. Aldrich, and N.R. Merchen.1999. Effect of saturation and esterification of fat sources on site and extent of digestion in steers: Digestion of fatty acids, triglycerides, and energy. *J. Anim Sci.* 77:1919-1929.
- García, M.A., M.N. Martino, and N.E. Zaritzky.2000. Lipid barrier properties of edible starch-based films and coatings. *J. Food Sci.* 65:941-947.
- Hamilton, C.R. 2002. Value of animal fats and recycled greases in animal feeds. Darling International Inc. Irving Tx. 1-17 pp.
- Hicks, C.R. 1973. Fundamental concepts in the design of experiments. Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Hill, F. N., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-596.
- Jenkins, T.C., and B.L. Jenny.1989. Effect of hydrogenated fat on feed intake, nutrient digestion, and lactational performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.*72:2316-2324.
- MacLeod, G.K., and J.G. Buchannan-Smith. 1972. Digestibility of hydrogenated tallow, saturated fatty acids and soybean oil supplemented diets by sheep. *J. Anim.*

Sci.35:890-895.

Moore, J.A., R.S. Swingle and W.H. Hale. 1986. Effects of whole cottonseed, cottonseed oil or animal fat on digestibility of wheat straw diets by steers. J. Anim. Sci.63: 1267-1273.

NRC Beef. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle (6th Revised Ed.) National Academy of Sciences- National Research Council, Washington D. C.

Owens, F.N., D.S. Secrist, W.J. Hill, and D.R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle. J.Anim.Sci. 75:868-879.

Owens, F.N., D.S. Secrist, W.J. Hill, and D.R. Gill. 1998. Acidosis in cattle: A review. J. Anim. Sci.76:285-286.

Palmquist, D. L. 1991. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. J. Dairy Sci. 74:1354-1360.

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. 77:2603-2609.

- Zinn, R. A. 1989. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: metabolism. *J. Anim. Sci.* 67:1038-1049.
- Zinn, R. A. 1994. Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth performance and digestive function. *Prof. Anim. Sci.* 10:66-72.
- .Zinn, R.A., E.G. Alvarez, A. Plascencia, and Y.Shen.1998. Influence of method of supplementation on the utilization of supplemental fat by feedlot steers.*Proc. West. Sec.Amer. Soc. Anim. Sci.* 49:291-296.
- 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.* 43:454-457.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71:11-17.
- Zinn, R.A., and A. Plascencia. 2007. Feed value of supplemental fats used in feedlot cattle diets. Pages 247-268 in *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. Vol. 23. L.C. Hollis and K.C. Olson, ed. W.B. Saunders Co. Philadelphia, PA.
- Zinn, R. A., and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can J. Anim. Sci.* 66:157-164.
- Zinn, R.A., S.K.

Table 1. Composition of basal diets fed to steers

Item	Supplemental fat	
	Yellow grease	Tallow
Ingredient composition, % (DM basis) ^a		
Sudangrass hay	6.00	6.00
Alfalfa hay	6.00	6.00
Steam-flaked corn	74.00	74.00
Yellow grease ^b	5.00	
Tallow ^c		5.00
Cane molasses	5.00	5.00
Limestone	1.50	1.50
Urea	1.12	1.12
Trace mineral salt ^d	0.40	0.40
Sodium bicarbonate	0.60	0.60
Chromic oxide		

Table 2. Influence of type and method of fat supplementation on characteristics digestion.

	Treatment				SD
	On grain		On last		
	YG	TL	YG	TL	
Steers	3	3	3	3	
Intake, g/d					
DM	7,541	6,997	8,004	6,54	
OM	7,132	6,618	7,571	6,19	
Starch	3,469	3,218	3,682	3,01	
ADF	597	554	634	518	
N	127	117</			

Table 3. Main effects of influence of source and method of fat supplementation on ruminal pH, VFA, and methane production 4 h after feeding

Item	Treatment				SD	
	On grain		on last			
	YG	TL	YG	TL		
Ruminal pH	5.74	6.23	5.73	5.80	0.40	
Ruminal VFA, mol/100 ml						
Acetate	47.8	46.5	48.0	52.8	6.8	
Propionate	38.4	46.1	38.7	35.4	7.5	
But						