

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS



**EVALUACIÓN DEL USO DEL AGENTE EMULSIFICANTE TWEEN 80 COMO
ADITIVO ALIMENTICIO EN DIETAS DE FINALIZACIÓN ENRIQUECIDAS
CON GRASAS: ABSORCIÓN POSTRUMINAL DE LOS ÁCIDOS GRASOS,
DIGESTIÓN DE NUTRIMENTOS Y VALOR ENERGÉTICO DE LA GRASA
SUPLEMENTARIA**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR
EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

PRESENTA

HORACIO DÁVILA RAMOS

ASESOR PRINCIPAL

ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

COMITÉ

**MARTÍN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ
ALFREDO ESTRADA ANGULO
JOSÉ FERNANDO CALDERÓN CORTÉS
RICHARD AVERY ZINN**

Esta tesis se realizó bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para la obtención del grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias

Consejo Particular

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA
ASESOR PRINCIPAL

Ph. D. RICHARD AVERY ZINN
CONSEJERO

DR. MARTÍN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ
CONSEJERO

DR. JOSÉ FERNANDO CALDERÓN CORTÉS
CONSEJERO

DR. ALFREDO ESTRADA ANGULO
CONSEJERO

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis doctoral pudo ser realizada al apoyo del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California que me abrigó en su programa doctoral me otorgó todo su apoyo para concluir esta investigación Doctoral.

Mi más amplio agradecimiento para el Dr. Alejandro Plascencia Jorquera, cuya paciencia e invaluable y generoso apoyo ilimitado hicieron posible la realización de esta investigación doctoral, pero sobre todo por ser un gran amigo, gran persona y un excelente profesor.

También quisiera hacer patente mi agradecimiento al Ph. D. Richard A. Zinn, Dr. Martin Francisco Montaña Gómez, Dr. José Fernando Calderón Cortés y al Dr. Alfredo Estrada Angulo integrantes de mi comité tutorial por las valiosas aportaciones y consejos que me brindaron para mejorar la presente investigación y sobre todo por su amistad.

Por supuesto al Dr. Víctor Manuel González Vizcarra y a la M. en C. Ma. Alejandra López Soto por su distinguida labor en este trabajo y su valiosa amistad.

En especial le agradezco a mi Madre Ma. De Lourdes Ramos Bugarín por haberme traído al mundo, ayudarme a salir adelante en mi vida, por tu apoyo infinito y heredarme todo tu orgullo y coraje para poder enfrentarme a la vida, te debo muchas madre...

A Juan Ramón Ortiz por tu apoyo incondicional, confianza y tu perseverancia en hacer de mí una persona de provecho.

A mi abuelo Juan Ramos Hernández por creer en mí siempre...

A mis compañeros y amigos por sus consejos, regaños, apoyo incondicional pero sobre todo por su amistad, gracias por ayudarme a ser mejor cada día.

A ti Yissel porque en tu compañía las cosas malas se convierten en buenas, las tristezas se transforma en alegrías y la soledad no existe.

A Isidro López por su invaluable apoyo en todo este trabajo, gracias amigo.

A todos mi mayor reconocimiento y gratitud.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS.....	i
LISTA DE GRÁFICOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Fuentes y tipos de grasas	3
Grasa amarilla.....	4
Sebo.....	4
Grasas mezcladas.....	6
Extractos de jabón y otras fuentes grasas altas en ácidos grasos libres.....	6
Digestión de lípidos en rumiantes	6
Digestión ruminal.....	6
Digestión Intestinal.....	9
Factores que inciden en la digestibilidad de las grasas	11
Contenido de ácidos grasos libres (AGL).....	11
Proporción de insaturados:saturados.....	13
Métodos de adición.....	16
Tipo de animal.....	17
Nivel de inclusión.....	18
Descripción de surfactantes.....	27
Clasificación de los Surfactantes.....	28
Surfactantes Aniónicos.....	28
Surfactantes Catiónicos.....	28
Surfactantes No iónicos.....	28
Surfactantes Anfotéricos.....	29
Mecanismo de acción de los surfactantes.....	29
Surfactantes de origen natural.....	29
Monooleato de polioxietilén sorbitán.....	30
Usos de los Surfactantes.....	30
Uso de los surfactantes en la alimentación animal.....	30

CONCLUSIONES.....	32
LITERATURA CITADA.....	33
 EXPERIMENTO I.....	 45
INTRODUCTION.....	46
MATERIALS AND METHODS	46
RESULTS AND DISCUSSIONS.....	48
SUMMARY	49
ACKNOWLEDGEMENT.....	49
REFERENCES.....	49
 EXPERIMENTO II.....	 54
<i>Abstract.....</i>	<i>55</i>
<i>Introduction.....</i>	<i>56</i>
<i>Materials and Methods</i>	<i>57</i>
<i>Results and Discussion</i>	<i>58</i>
<i>Acknowledgement.....</i>	<i>60</i>
<i>References</i>	<i>61</i>

LISTA DE CUADROS

	Página
REVISIÓN DE LITERATURA	
Cuadro 1. Composición química promedio y perfil de AG de las principales grasas alimenticias utilizadas en engorda de ganado.....	5
Cuadro 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.....	19
Cuadro 3. Digestibilidad intestinal para distintas fuentes de grasa.....	21
Cuadro 4. Producción biliar y digestión posruminal de los ácidos grasos totales en novillos consumiendo dietas con 3 niveles de grasa suplementaria.....	26
 EXPERIMENTO I	
Table 1. Effect of different levels of surfactant abomasally infused on fatty acid digestion on DE diet in cannulated Holstein steers fed a fat supplemented, high-energy diet.....	53
 EXPERIMENTO II	
Table 1. Influence of surfactant Tween 80 method addition in fat-supplemented diet on characteristics of digestion in cannulated Holstein steers (271 kg BW).....	64
Table 2. Influence of surfactant Tween 80 method addition in fat-supplemented diet on fatty acid digestion in cannulated Holstein steers (271 kg BW).....	65

LISTA DE GRÁFICOS

REVISIÓN DE LITERATURA

Página

Gráfica 1. Influencia del nivel de consumo de ácidos grasos sobre su digestión intestinal.....	27
--	----

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el uso potencial del surfactante no iónico Tween 80 (TW) como aditivo alimenticio en dietas de finalización enriquecidas con grasa amarilla (GA), se llevaron a cabo dos experimentos, bajo un diseño de cuadrado Latino 4x4, utilizando un total de ocho novillos Holstein canulados. Las dietas formuladas en base de maíz amarillo en hojuela fue suplementada con GA sustituyendo al maíz en un nivel de 0 o 6%. El consumo de ácidos grasos fue para ambos experimentos de 79 g/kg de dieta. En el primer experimento se infundieron diariamente vía abomasal 4 niveles (0, 2.5, 5.0 y 7.5 mL de Tween 80/ kg de dieta) del surfactante. Aún y cuando, en la evaluación preliminar realizada *in vitro* el surfactante emulsificó en concentraciones mas bajas a las probadas *in vivo*, éste no tuvo el efecto esperado en la prueba en vivo. La infusión abomasal directa no afectó la tasa de digestión de los AGCL ni el contenido de energía digestible de la dieta. Se concluyó que debido a la velocidad de pasaje intestinal fue posible que el surfactante no tuviera suficiente tiempo de exposición con el quimo duodenal para emulsificar adecuadamente. En el segundo experimento, se utilizó el surfactante como aditivo en dietas enriquecidas con grasa utilizando 2 métodos de adición (TW agregado primero en la premezcla y añadido como ingrediente en el segundo paso en el mezclado en la preparación de la dieta o TW mezclado previamente con la grasa y añadido como ingrediente en el penúltimo paso del mezclado en la preparación de la dieta) utilizando un nivel de 2.5 mL TW/kg de dieta (0.41 mL TW/g de grasa suplementada). La hipótesis fue que, el añadir directamente el surfactante a la grasa este pre-emulsificaría los AGCL, y dado el tiempo de tránsito del flujo para todo el tracto gastrointestinal, éste podría resultar en el efecto buscado. Sin embargo, de nueva cuenta, no se observó efecto alguno del surfactante sobre el sitio o extensión en la digestión de los AGCL, de algún otro componente de la dieta o del valor energético de la grasa en prueba. Se concluyó que para mantener el potencial de emulsificación del surfactate *in vivo* se requiere de dosis más elevadas de TW lo cual, por su costo, no hace este compuesto viable para su uso como aditivo alimenticio en dietas enriquecidas con grasa ofrecidas a rumiantes

Palabras clave: Digestión, Rumiantes, Grasa suplementaria, Tween 80

ABSTRACT

In order to evaluate the potential use of the nonionic surfactant Tween 80 (TW) as a food additive in fat-supplemented finishing diets, eight cannulated Holstein steers were used in two 4 × 4 Latin square design experiments. The SF corn-based diets were supplemented with YG. The YG replaced the SF corn at 0 or 6% levels. Fatty acids intake for both experiments was 79 g / kg diet. In the first experiment, TW was daily abomasally infused in four levels (0, 2.5, 5.0 and 7.5 mL of TW / kg diet) of surfactant. Even when in the preliminary assessment (in vitro) the surfactant emulsified in lower concentrations to the demonstrated in vivo, it does not have the expected effects on in vivo test. It was concluded that, as consequence of intestinal passage rate, the surfactant did not have enough time exposure to the duodenal chyme and could not emulsified properly. In the second experiment, TW was tested as feed additive using two inclusion methods (TW was mixed previously whit premix, and then was added as ingredient in second step in diet preparation, or TW was mixed previously whit YG, and then was added as ingredient in penultimate step in diet preparation) using TW at level of 2.5 mL TW/ kg of diet (0.41 mL TW/g of supplemental YG). The hypothesis was that, directly adding the surfactant to the fat, this one could help to preemulsify the LCFA, and given that transit time flow for the entire gastrointestinal tract, it could have the effect expected. However, again, there were no effect on site or extent of digestion of LCFA and the feeding value of supplemental YG. It was concluded that, to maintain the emulsifying surfactant potential *in vivo*, higher doses of TW are required, which, would be more expensive and makes this compound not viable for use as a feed additive in supplemental fat used in finishing diets offered to ruminants.

Key words: Digestion, Ruminants, Supplemental fat, Tween 80

INTRODUCCIÓN

Excluyendo las interacciones asociativas, el valor de energía neta (EN) de las grasas alimenticias adicionadas en las dietas para bovinos está ampliamente relacionado con su digestibilidad intestinal. Considerando el 100% de su valor fisiológico de combustión, un gramo de grasa absorbida en el intestino aporta 9 kilocalorías de energía metabolizable (EM), y dado que la eficiencia parcial para la utilización de EM a EN de ganancia (EN_g) se ha determinado en 67% (Czerkawsky et al., 1966; Garrett, 1980; Zinn, 1994), entonces el valor de energía neta para ganancia (EN_g) de la grasa puede estimarse al multiplicar el valor de EM por la eficiencia parcial para transformarse a EN_g ($EN_g = 9.0 \times 0.067$) resultando en 0.603 kcal por gramo de grasa digerida en el intestino. En general, los lípidos de la dieta que ingresan al duodeno de los rumiantes están constituidos en un 100% de ácidos grasos de cadena larga (AGCL), y aún cuando en rumiantes no se conocen plenamente los factores que afectan su digestibilidad intestinal, el nivel de suplementación se ha determinado como el de mayor relevancia.

En ese sentido, los estándares actuales (NRC, 1996) indican que las grasas suplementarias aportan, para bovinos, 6.00 y 4.50 Mcal/kg de EN_m y EN_g respectivamente, y esos valores son consistentes con aquellos observados en pruebas donde el consumo total de grasa no excedió la cantidad de 0.96 g de grasa consumida por kg de peso vivo (Zinn, 1994; Zinn y Plascencia, 2004). Cuando el consumo de grasa es mayor a esa proporción, el valor energético de la grasa disminuye en forma lineal (Zinn y Plascencia, 2007) como resultado directo de la disminución de la digestibilidad intestinal de los ácidos grasos (AG), principalmente C18:0. (Plascencia et al., 1999b; Plascencia et al., 2003), y esto se ha relacionado con una posible emulsificación incompleta de los AG saturados en el intestino delgado como resultado de una producción inadecuada de jugo biliar con relación a la cantidad presente de éstos ácidos grasos que se observa como resultado del consumo de dietas con alto contenido de grasa (Plascencia et al., 2004). Deficiencias en la utilización adecuada de las grasas alimenticias han sido informadas en aves, al respecto, Atteh y Lesson (1985) observaron un incremento en 16% en la digestión intestinal de una mezcla de ácidos palmítico:oleico cuando se añadió 0.2% de

ácido cólico a la dieta que se tradujo en una mejora en la energía digestible de la dieta de 14%. Sin embargo, en rumiantes existe información limitada al respecto. El uso de lecitina de soya (un emulsificante natural) en dietas con bajo (~3.7% de AGCL; Jenkins y Fotouhi, 1990) o alto (~8%; Zinn, 1989a) contenido de grasa no ha resultado en la mejora de la digestión posruminal de los AGCL. Lo anterior se ha explicado por la pérdida del poder emulsificante de la lecitina ya que ésta es extensivamente hidrolizada en rumen (Jenkins y Fotouhi, 1990). Sin embargo, Enjalbert et al. (2000) observaron que, previo a la infusión intestinal, la pre-emulsificación de una mezcla de ácidos grasos saturados con 0.25% de lecitina no aumentó la digestión intestinal de los ácidos grasos.

El emulsificante Monoleato Sorbitano de Polioxietileno (Tween 80; **TW**), un surfactante no iónico posee un valor BHL (balance hidófilo lipófilo) de 15, este valor es casi el doble del BHL que posee la lecitina de soya (~8, McClements 2004). Compuestos con valor por encima de 12 actúan como emulsificantes “aceite en agua”; por lo tanto, dada las condiciones intestinales, el TW puede tener un uso potencial como aditivo alimenticio que promueva la absorción intestinal de los AG. De acuerdo a la información revisada, no ha sido estudiado el TW como aditivo alimenticio para mejorar la utilización de los AG en rumiantes, sus efectos sobre la función digestiva y el valor alimenticio de las grasas suplementarias.

Objetivo

Con la finalidad de evaluar el uso del agente emulsificante Monoleato Sorbitano de Polioxietileno 80 como potencial aditivo para dietas de finalización enriquecidas con grasa destinadas a novillos de engorda, se llevaron a cabo dos experimentos en los cuales se valoraron dosis y métodos de adición del surfactante sobre el flujo y digestión de nutrimentos así como el valor energético de las grasas suplementarias en novillos alimentados con una dieta de finalización con alto contenido de grasa.

REVISIÓN DE LITERATURA

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 4.50 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, 1989a; 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; Plascencia et al., 2001), 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).

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. (Palmquist, 1996).

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. Una vez que llega a la planta, el proceso aplicado es la remoción de agua e impurezas y se le aplican pruebas para asegurar que el producto sea libre de patógenos y sustancias tóxicas (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 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).

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 yodo ^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 encefalopatía espongiforme bovina.

^c Son materiales solubles en éter de petróleo que no reaccionan con hidróxido de sodio o de potasio para formar jabón, estos compuestos contribuyen muy poco al valor nutrimental de la grasa y representan un factor de riesgo de contaminación por pesticidas y otras sustancias tóxicas.

^d Refiere a la cantidad de gramos de yodo consumidos por cada 100 gramos de grasa, y es una medida del grado de saturación de los ácidos grasos que contienen las mismas.

Fuentes: para grasa amarilla; Zinn 1992; Krehbiel et al., 1995; Plascencia et al., 1999b; Zinn et al., 2000; Ramírez y Zinn, 2000

Para sebo: Palmquist, 1991; Clary et al., 1993; Krehbiel et al., 1995; Elliot et al., 1997; Beam, 2000; Ramírez y Zinn, 2000

Para mezcla animal-vegetal: Zinn, 1989a; Palmquist, 1991; Wu et al., 1991.

Para extractos de jabón: AFOA, 1999; Bock et al, 1991; Zinn, 1992

Jabones de calcio: Coppock y Wilks, 1991; Klusmeyer y Clark, 1991; Palmquist, 1991; Wu et al., 1991,1993.

Grasas mezcladas

Son mezclas en diferentes proporciones, de grasas de origen animal, aceites vegetales, así como aceites acidulados y subproductos de refinación. De la misma forma que la grasa amarilla, las mezclas 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 spp* (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, 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). Los efectos tóxicos de los aceites insaturados sobre la actividad microbiana quedaron demostrados en los trabajos clásicos de Ikwuegbu y Sutton (1982), estos investigadores suministraron a ovejas 0, 13, 26 ó 40 mL/día de aceite de linaza observando una disminución (efecto lineal) en la digestibilidad ruminal y de tracto total de la fibra ácido detergente (FAD) al aumentar la ingesta de linaza, observaron adicionalmente una disminución de la relación acético:propiónico y desaparición de los protozoos ruminales.

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). Consistente con lo anterior, Doreau et al. (1993) compararon los efectos de suministrar a vacas productoras de leche aceite de colza libre o en forma de jabones de calcio, y observaron que la digestión de la fibra no resultaba alterada cuando los ácidos grasos fueron ofrecidos como jabones de calcio.

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 Soest y Demeyer, 1996), 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.

En contraste con la extensiva absorción ruminal de los ácidos grasos de cadena corta (<10 C), los ácidos grasos de cadena larga no son absorbidos hasta alcanzar el intestino delgado (Bickerstaffe et al., 1972). De tal manera que el metabolismo ruminal modifica en gran medida el perfil de los ácidos grasos de las grasas dietéticas (Wu et al., 1991; Plascencia et al., 1999b); representando el mecanismo de biohidrogenación el factor que determina el perfil de ácidos grasos saturados de la grasa de los rumiantes y el principal factor que influye en la digestibilidad intestinal de la grasa en rumiantes.

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). Sin embargo, otros trabajos no muestran esta relación curvilínea. De hecho, algunos investigadores (Doreau y Ferlay, 1994; Nelson et al., 2001) concluyen que no existe relación entre consumo de ácidos grasos y su digestibilidad. 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 C16:0/C18:0 y C18:1/C18:0 en función del tipo de grasa de la dieta y estas relaciones influyen sobre la digestibilidad de la grasa (Zinn et al., 2000). El avance más importante en la utilización de grasas por los rumiantes probablemente vendrá de nuevas tecnologías que mejoren la digestibilidad de las grasas. En este contexto, se necesitan estudios concluyentes sobre la producción y composición de las sales biliares en bovinos en función de la cantidad y tipo de grasa de la dieta.

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. En ese sentido, se han realizado varias pruebas para comparar el valor nutrimental de las diferentes características de las grasas utilizadas en la alimentación para ganado en engorda.

Contenido de 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 procesado 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. En relación a lo anterior, el comportamiento de crecimiento en pollos generalmente no es afectado por consumos de dietas con grasa que contienen niveles altos de AGL (Vila y Esteve-García, 1996). Sin embargo, 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%. El comportamiento productivo, valor de EN estimada y la digestibilidad intestinal de los ácidos grasos fueron similares en ambas fuentes de grasa y no resultaron influenciados por los niveles de adición.

Considerando la composición química de los triglicéridos, el glicerol es un diluyente del contenido neto de energía, por lo tanto al incrementarse el contenido de ácidos libres en una fuente de grasa se espera que el contenido energético se aumente de la misma manera. En ese sentido, Plascencia et al. (1999b) evaluaron la influencia en el comportamiento productivo y la digestión de nutrimentos de distintos niveles del contenido de AGL en grasa amarilla en dietas para bovinos de engorda. Los niveles estudiados fueron 42.0, 28.5 y 15% de AGL en una dieta que contuvo 5% de grasa amarilla adicionada y 79% de grano en hojuela (50:50 de cebada y maíz, respectivamente). Aún cuando no existieron diferencias en la digestibilidad posruminal de los AG entre los tratamientos, el incremento de contenido de AGL aumentó en forma lineal la ganancia diaria, el consumo y la conversión alimenticia. Los resultados obtenidos por Plascencia et al. (1999b) han sido utilizados como indicios para soportar la hipótesis del efecto de dilución por glicerol utilizado en no rumiantes (Hamilton, 2002), sin embargo, 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

Recientemente ha surgido la controversia sobre el potencial de la proporción de ácidos insaturados:saturados contenidos en las grasas sobre su valor nutrimental para bovinos en engorda. 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 más 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.

En otros casos, el ganado que consumió dietas con sebo obtuvo menores ganancias y conversión alimenticia que aquellos que consumieron grasa amarilla (Lofgreen, 1965; Huffman et al., 1992). A pesar de esto, 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; Plascencia y Zinn, 2001).

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. De igual forma, Plascencia et al. (2001) no observaron diferencias en la utilización intestinal de ácidos grasos (promedio 70%) cuando compararon la adición de 5% de grasa amarilla o sebo vacuno en dietas de finalización. Adicionalmente, Palmquist (1991) no informa diferencias en la digestibilidad de los ácidos grasos cuando compararon cinco distintas fuentes de grasa con diferentes proporciones de insaturados:saturados. 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. (2000) 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. Por ejemplo, Wu et al. (1991) alimentando a vacas con una mezcla animal-vegetal (59% de insaturados), notaron que el consumo de ácido linoleico aumentó de 171 a 296 g/d, sin embargo el flujo hacia el duodeno aumento sólo de 45 a 54 g/d. De igual forma, en novillos alimentados con dietas adicionadas con extractos de jabón de aceite de soya (84% insaturados), el consumo de C18:1 aumentó de 38 a 99 g/d, mientras que el flujo hacia el duodeno sólo fue de 19 a 27 g/d (Bock et al., 1991). Lo anterior provoca que las diferencias entre las proporciones en los AG existentes entre las distintas fuentes de grasa consumidas disminuyan cuando éstos llegan a intestino, de tal forma que la proporción de insaturados:saturados contenido en el alimento tienen una menor relevancia para rumiantes comparado con las especies no rumiantes (Cera et al., 1989; Vila y Esteve-García, 1996).

Basado en lo anterior, un aspecto que ha sido abordado últimamente en rumiantes, es la proporción de saturados (C16:0 y C18:0) y la cantidad de insaturados que ingresan 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). Al respecto, Firkins y Eastridge (1994) demostraron que a una mayor proporción de C16:0 con respecto a C18:0 del total de AG saturados generalmente mejora la digestibilidad de los ácidos grasos, especialmente si el grado de insaturados de la grasa se incrementa. 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% (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. En ese sentido, se han conducido una serie de estudios con la finalidad de evaluar si el método de adición de grasa puede influir en su valor nutrimental. Al efecto, 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 encontrando 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. Para tal efecto Plascencia et al. (2001) evaluaron mediante una prueba de digestión y metabolismo, utilizando el mismo esquema de tratamientos utilizados por el estudio de Zinn et al. (1998), para estudiar si el método de adición pudiese ser afectado por el punto de fusión de

la fuente de grasa utilizada (sebo vs. grasa amarilla). Al igual que en el estudio de Zinn et al. (1998), no existieron efectos de los tratamientos sobre el sitio o grado de digestión de los diferentes componentes de la dieta. La digestión intestinal de la grasa promedió 69.3%. 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 vió 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.

Tipo de Animal

El impacto del consumo de AG sobre el valor alimenticio de las grasas es particularmente importante cuando se comparan las respuestas entre el ganado tipo carne contra los novillos Holstein. Los Holstein son de mayor tamaño, poseen un peso maduro superior para un mismo nivel de cebamiento

o finalización y requieren 9% más de EN para mantenimiento cuando son comparados con el ganado cruzado (NRC, 1996).

Otra característica (como consecuencia de su mayor requerimiento de EN_m) es que, a pesos iniciales similares, los Holstein consumen aproximadamente 10% más de MS, y por lo tanto, mayor cantidad de AG que el ganado tipo carne consumiendo el mismo tipo de dieta. Eliminando las diferencias del nivel de consumo de AG, no existe evidencia que el valor nutrimental de la grasa sea diferente para los novillos Holstein.

En estudios conducidos por Zinn (1988), Zinn et al. (1998) y Plascencia et al. (1999) con novillos Holstein consumiendo dietas de finalización con niveles de 4 y 5% de grasa amarilla, el valor energético de la grasa fue estrechamente relacionado (0.98) con su nivel de consumo y por lo tanto de su digestibilidad. Como resultado de su potencial de crecimiento, el Holstein puede mantener altas tasas de ganancia durante toda su estancia en corral. Se han determinado, en fases iniciales (primeros 112-d) ganancias de 1.6 kg para ganado con peso promedio de 160 kg de PV (Zinn et al., 2007), y aún y cuando las dietas convencionales en el suroeste de California contienen altas cantidades de maíz en hojuela y grasa (hasta 4% de grasa) que aportan en promedio 2.20 Mcal de EN_m /kg (BMS), la cantidad de alimento requerido para mantener esa ganancia es de aproximadamente un 2.78% del PV. Si se remueve la grasa de la dieta y se reemplaza con grano, entonces, la energía es de 2.06 Mcal de EN_m y el consumo requerido de MS sería de 5.04 kg de MS, que representa el 3.1% de su PV, cantidad que posiblemente sea insostenible.

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) (Cuadro 2).

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, 2002
4.78	3.87	5	Zinn y Shen, 1996
4.68	3.69	9	Plascencia y Zinn, 2002
4.63	3.50	6	Zinn y Plascencia, 1996
4.38	3.45	5	Zinn et al., 1998
3.77	2.95	4	Clary et al., 1993
3.66	2.80	9	Zinn y Plascencia, 2004

^a La técnica de reemplazo determina comparativamente el valor nutrimental de un ingrediente testigo el cual sustituye parcial o totalmente a un ingrediente prueba, y se basa, por lo tanto, en la comparación del contenido de energía del ingrediente en prueba considerando a un ingrediente estándar o de valor energético conocido. Esta técnica asume que las dietas son idénticas en composición salvo por el ingrediente prueba que reemplaza al ingrediente conocido en diferentes proporciones y se calcula de la siguiente manera: (energía de la dieta prueba-energía de la dieta estándar/proporción reemplazada) + energía contenida del ingrediente estándar (Plascencia y Zinn, 1996).

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.

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 declinó 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%). La elevada capacidad de los rumiantes para digerir AG saturados, con respecto a los no rumiantes, está dada por las condiciones de pH duodenal (2-2.5, Christiansen y Webb, 1990), la proporción de fosfatidilcolina (80%) con alto contenido de oleico (Christie, 1973), así como la proporción elevada de taurocolatos (Peric-Golia y Socic, 1968) de las sales biliares. Por otra parte, el concepto generalizado de que la longitud de la cadena en los AG saturados afecta negativamente su digestibilidad (Steele y Moore, 1968) no parece ser de importancia en rumiantes cuando los consumos de lípidos son moderados (Weisbjerg et al., 1992), sin embargo, a altos consumos, la digestibilidad de C18:0 es 5 a 8% menor en relación a C16:0 (Bauchart, 1993)

Como se mencionó anteriormente, la digestibilidad de los ácidos grasos insaturados es mayor que la de los saturados y no parece ser afectada aún con altos consumos de grasa (Avila et al., 2000; Enjalbert et al., 2000) aunque existen informes que indican que el linolénico es absorbido menos

eficientemente que el palmítico (Doreau y Ferlay, 1994), esos resultados pueden ser reflejo de problemas metodológicos en su determinación dada la baja concentración de C18:3 (< 2%) en el flujo duodenal.

Cuadro 3. Digestibilidad intestinal para 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	77.1	Zinn, 1989b
MAV	6.0	78.4	Zinn, 1989b
GA	6.0	79.5	Zinn et al., 2000
GA	6.0	77.5	Plascencia et al., 1991
GA	6.0	75.6	Plascencia y Zinn, 2002
GA	8.0	69.3	Zinn, 1989b
GA	9.0	70.1	Plascencia y Zinn, 2002

^a MAV=mezcla animal-vegetal, GA= grasa amarilla, TG= triglicéridos, SV= sebo vacuno.

^b Ácidos grasos de grasa animal-vegetal.

Lo anterior demuestra, en gran medida, que el principal factor que afecta a la digestibilidad de la grasa en rumiantes es el nivel de consumo de lípidos (Palmquist y Conrad, 1980; Ngidi 1990; Copppock y Wiks, 1991; Palmquist, 1991; Khorasani et al., 1992; Zinn, 1992,1994; Pylot et al., 2000).

Por ejemplo, Zinn (1989b) demostró una disminución de la digestibilidad intestinal de grasa amarilla en forma lineal con el nivel de inclusión (83, 81 y 74% para 0, 4 y 8% de grasa suplementaria, respectivamente), calculando una disminución de la digestibilidad de la grasa en 3.4% por cada unidad porcentual por encima de 4% de inclusión. Similar a lo anterior se muestra en los resultados de Palmquist (1991), quien observó que la digestibilidad de los ácidos grasos disminuía en 2.2% por cada 100 g de ácidos grasos consumidos. Adicionalmente, Palmquist y Conrad (1980) indican que a niveles moderados de inclusión (por debajo de 5%) la digestibilidad verdadera de la grasa es aproximadamente de 80%, más si se agrega la grasa por encima de ese nivel se digiere menos eficientemente (56%). Por otra parte, Wu et al., (1991) determinaron que la reducción de la digestibilidad total de ácidos grasos se debía principalmente al efecto negativo de la digestibilidad del ácido esteárico (C18:0), ya que registraron una disminución en su digestibilidad en 21% cuando la grasa suplementada fue incrementada en la dieta del 3 al 6% (72 al 59%, respectivamente), estos datos son similares al 75% y 50.9% de digestibilidad para C18:0 obtenidos por Zinn (1992) en dietas con 90% de concentrados suplementados con 0% y 6% de grasa animal.

Los estudios anteriores concuerdan que a mayor nivel de inclusión es menor la eficiencia de utilización intestinal de los ácidos grasos, principalmente C18:0. Sin embargo, entre los estudios no existe concordancia con relación a que porcentaje de inclusión es la que permite el máximo de utilización de grasa sin afectar negativamente su digestibilidad, y por lo tanto su valor de EN. Aún así, las recomendaciones prácticas actuales indican que la inclusión no exceda del 5% de la dieta. Aunque Doreau y Ferlay (1994) cuando relacionaron la digestibilidad intestinal con el consumo de grasa de 13 experimentos no encontraron relación entre el nivel de grasa en la dieta y la digestión de los ácidos grasos, es importante hacer notar que la relación establecida por esos investigadores fue la de la concentración de lípidos (g/kg de MS) contra digestibilidad expresada en porcentaje. Esta relación puede confundir los efectos, ya que indica solo la concentración de lípidos en la dieta y no la cantidad total de lípidos consumidos. Con relación a lo anterior, Brandt et al. (1992), indican que mucha de la inconsistencia en la respuesta del comportamiento productivo del ganado cuando consume dietas

suplementadas con grasa, puede estar más asociada con la cantidad total de lípidos consumidos que con el porcentaje de inclusión.

Desafortunadamente son pocos los estudios que han dirigido la atención para evaluar el efecto del nivel de consumo de lípidos sobre el valor nutricional de las grasas relacionándolo con su tasa de utilización intestinal. En ese sentido, Zinn (1994) ha determinado una correlación negativa de la cantidad de lípidos consumidos (g/kg de peso corporal) contra su digestibilidad intestinal, el cual ha expresado en el modelo de regresión $Y = 83.18 - 4.52X - 0.68X^3$ ($R^2=.95$, $n=20$), donde Y = digestibilidad intestinal y X = lípidos consumidos (g/kg de peso corporal). Esta correlación implica que sin afectar la digestibilidad, el consumo para lípidos en dietas de finalización es de 1.0 g/kg de peso corporal. Lo anterior indica que la principal limitante en la digestibilidad sucede cuando la cantidad de los lípidos que llegan a duodeno sobrepasa la capacidad enzimática intestinal y, por consiguiente, su absorción (Bauchart, 1993). Los ácidos grasos que llegan al intestino en rumiantes son altamente saturados [65%] y asociados a partículas (Wu et al., 1991; Pantoja et al., 1996; Plascencia et al., 1999b) y los ácidos grasos saturados son físicamente menos voluminosos y más viscosos que los insaturados, lo cual dificulta la formación de la fase micelar (Moore y Christie, 1984), y la tasa de absorción, puesto que se ha determinado que la absorción de los AG saturados es más lenta (Doreau y Ferlay., 1994). Debe de considerarse que la forma de evaluar la digestibilidad se basa no sólo en el potencial de digestión del nutrimento en el organismo, sino básicamente en su potencial de absorción en el tracto gastrointestinal y es importante que se considere esta limitante cuando se presenten niveles altos de consumo de lípidos. La disminución de la digestibilidad de los AG saturados puede explicar de 85% a 100% la variación del valor nutrimental observado para las grasas adicionadas a las dietas para los rumiantes (Pantoja et al., 1995; Ramírez y Zinn, 2000; Ávila et al., 2000; Enjalbert et al., 2000), y esto puede estar relacionado con una posible emulsificación incompleta de los AG saturados en el intestino delgado como resultado de una producción inadecuada de jugo biliar con relación a la cantidad presente de éstos ácidos grasos que se observa como resultado del consumo de dietas con alto contenido de grasa (Palmquist, 1991;

Xu et al., 1998). En ese sentido, deficiencias en la utilización adecuada de las grasas alimenticias por insuficiencia de jugo biliar ha sido informado en aves, al respecto, Atteh y Lesson (1985) observaron 16% de incremento en la digestión intestinal de una mezcla de ácidos palmítico:oleico cuando se añadió 0.2% de ácido cólico a la dieta; lo que se tradujo en una mejora en la energía digestible de la dieta de 14%. Sin embargo, en rumiantes existe información limitada al respecto. Por ejemplo, estudios en los cuales se ha utilizado un emulsificante de grasa (principalmente lecitina) combinado con la grasa suplementaria no han obtenido beneficios en la digestión posruminal de los ácidos grasos (Zinn, 1989b; Jenkins y Fotohui, 1990; Plascencia et al., 1991). Lo anterior puede explicarse por la alta hidrólisis ruminal de la lecitina la cual evita que llegue con sus características emulsificantes al intestino (Jenkins, 1990). Un indicio de la limitada capacidad de emulsificación a nivel intestinal en rumiantes lo muestra el estudio conducido por Børsting et al. (1992) quienes informan coeficientes de digestión de 92% para C18:0 cuando las vacas consumieron dietas con grasas vegetales emulsificadas las cuales fueron protegidas contra la hidrólisis ruminal mediante una matriz de formaldehído-caseína. Estos investigadores concluyeron que los bajos coeficientes de digestión observados en la mayoría de los estudios para C18:0 en altos consumos de lípidos es debido principalmente a una pobre emulsificación más que a un inefectivo sistema de lipasas.

Considerando que en rumiantes la producción de jugo biliar oscila de 0.5 a 1.45 mL/h/kg de peso (Harrison, 1962; Moore y Christie, 1984; Merchen, 1988); entonces, para un bovino de 200 kg de peso vivo la producción biliar varía desde 2,400 hasta 6,960 mL/día. Sin embargo, las diferencias detectadas en la producción biliar evaluada por métodos de cateterización del conducto biliar utilizando técnicas de recolecciones repetidas de muestras pueden estar supeditadas a: 1) la disminución de la resorción de jugos biliares en las partes distales del intestino (reflejo enterocólico; Hurwitz et al., 1973) que afectan la producción biliar a corto plazo, 2) la disminución del flujo biliar debido a irritación directa en el conducto biliar (Harrison, 1995), 3) por inexactitud en la técnica de recolección de la totalidad del jugo biliar o bien 4) por características propias de la dieta. Con respecto a este último punto, aún cuando se ha determinado que el flujo biliar en rumiantes tiende a ser

independiente de la hora del día o la frecuencia alimenticia (Symonds et al., 1982); es importante considerar a la cantidad de ácidos grasos y a la proporción de insaturados:saturados que ingresan al duodeno como una variable potencial sobre la producción biliar, ya que ésta tiene un efecto directo sobre la producción de gastrina y colecistoquinina, ambos elementos involucrados en el mecanismo de flujo biliar a duodeno (Studzinsky y Bobowiec, 1979; Kato et al., 1991). Se ha argumentado que el grado de formación de micelas, el primer paso para la absorción de lípidos, puede variar con el tipo de dieta, lo que podría suceder solo si se aumenta la producción biliar o la proporción de sales biliares:lípidos, o bien si la proporción de ácidos grasos insaturados:saturados en duodeno se aumenta.

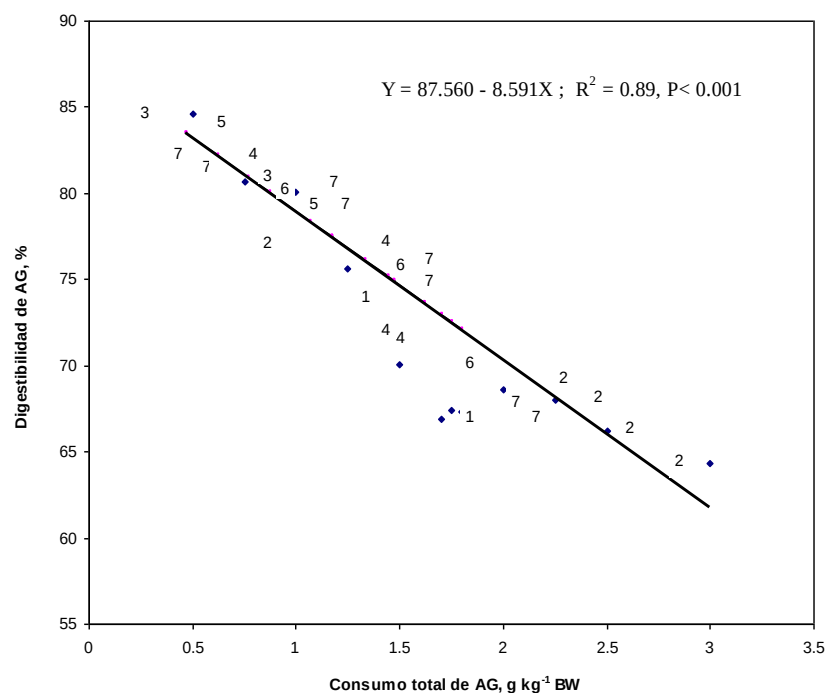
Sin embargo, existen estudios en los que se ha probado el uso de emulsificantes (principalmente lecitina) combinados con la grasa alimenticia en los cuales no se han obtenido beneficios en la digestión posruminal de los ácidos grasos (Zinn, 1989b; Jenkins y Fotohui, 1990; Plascencia et al., 1991). Lo anterior puede explicarse por la alta hidrólisis ruminal de la lecitina, lo cual evita que llegue con sus características emulsificantes al intestino (Jenkins, 1990). Un indicio de la limitada capacidad de emulsificación a nivel intestinal en rumiantes lo muestra el estudio conducido por Børsting et al. (1992) quienes indican coeficientes de digestión de 92% para C18:0 cuando las vacas consumieron dietas con grasas vegetales emulsificadas y protegidas contra la hidrólisis ruminal mediante una matriz de formaldehído-caseína. Esos investigadores concluyeron que los bajos coeficientes de digestión observados en la mayoría de los estudios para C18:0 con altos consumos de lípidos son debidos principalmente a una pobre emulsificación más que a un inefectivo sistema de lipasas. En ese sentido, Plascencia et al. (2004) relacionaron la producción biliar con la digestión posruminal de los AG en novillos que consumieron dietas con tres distintos niveles de grasa amarilla. La producción biliar promedió 32 mL/kg de PV y se incrementó (efecto lineal) a medida que se aumentó el flujo de lípidos a duodeno. Sin embargo, considerada como proporción del flujo de lípidos (mL bilis/g lípido ingresando al duodeno proximal) la producción biliar disminuyó linealmente de 23.4 a 16.7 mL de bilis/g de lípidos en duodeno (Cuadro 4). La mayor digestibilidad para AG se

observó en una relación de 40 mL de bilis/ g de lípidos en duodeno y la producción biliar explicó en 69% la variación en la utilización de AG en ese experimento (Fig 1).

Cuadro 4. Producción biliar y digestión posruminal de los ácidos grasos totales en novillos (215 kg PV) consumiendo dietas con 3 niveles de grasa suplementaria.

Concepto	Grasa amarilla adicionada a la dieta, %			
	0	4	8	EEM
Novillos	3	3	3	
Lípidos, g/d				
Consumo	128.4	253.8	405.9	
Flujo a duodeno proximal	156.6	279.4	434.7	3.9
Producción biliar				
mL/d ^b	6483	6510	7254	149
mL·kg ⁻¹ PV ^b	30.4	31.4	34.2	0.8
mL·kg ⁻¹ PV /h ^b	1.26	1.29	1.42	0.03
mL bilis/g de lípidos en duodeno ^a	41.3	23.3	16.7	1.07
Digestión posruminal de los AGT, % ^b	82.7	78.6	72.6	1.9

^a Efecto lineal del nivel de grasa, P<0.01; ^b Efecto lineal del nivel de grasa, P<0.01.



¹Wu et al., 1991; ²Pantoja et al., 1996; ³Zinn y Shen, 1996; ⁴Ramirez y Zinn, 2000; ⁵Zinn et al., 2000; ⁶Plascencia y Zinn, 2002; ⁷Plascencia et al., 2003

Gráfica 1. Influencia del nivel de consumo de ácidos grasos sobre su digestión intestinal (Plascencia et al., 2003).

Descripción de Surfactantes

Los surfactantes o emulsionantes, debido a su acción tensoactiva, posibilitan que sustancias inmiscibles entre sí (agua y aceite) se puedan estabilizar en una emulsión homogénea (Gunter et al., 1995). Para que este fenómeno de separación no tenga lugar se utilizan sustancias conocidas como emulsionantes, los cuales también son conocidos con el nombre de agentes tensoactivos o surfactantes del cual recibe el nombre por una contracción de la expresión agente activo de superficie (Surface – Active – Agent) los cuales disminuyen la tensión superficial y aumentan la superficie, dando como resultado que el agua humecte mejor las superficies (Umbland y Bellama, 2000). La tensión superficial es una fuerza de atracción que se manifiesta en la superficie de un líquido, debido a la atracción que sufren las moléculas de la superficie hacia el seno del líquido (Laguna y Peña, 2002).

Todos los líquidos presentan tensión superficial, pero el agua es el que más tensión presenta, esta tensión se ve disminuida al adicionar surfactantes

ya que estos interfieren directamente en los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua, dando como resultado una reducción de la tensión superficial (Wilbraham et al., 1987).

Clasificación de los Surfactantes

Los surfactantes se clasifican por la carga iónica de la parte superficial activa de la molécula. En los surfactantes aniónicos, la carga molecular es negativa; en los catiónicos, positiva; en los no iónicos, no hay carga y en los anfotéricos existen cargas tanto positivas como negativas en la molécula (Sherman y Sherman, 1989).

Surfactantes Aniónicos

Los surfactantes aniónicos contienen generalmente uno de los cuatro grupos polares solubles; carboxilato, sulfonato, sulfato o fosfato, cambiando con una cadena hidrocarbonada hidrófoba. Si esa cadena es corta son muy hidrosolubles, y en caso contrario tendrán baja hidrosolubilidad y actuarán en sistemas no acuosos como aceites y lubricantes (Heredia, 2000).

Surfactantes Catiónicos

Utilizados en detergentes, agentes limpiadores, líquidos lavaplatos, están compuestos por una molécula lipofílica y otra hidrofílica, poseen grupo amina o amonio terciarios o cuaternarios, las cuales son usadas como sustancias activas antimicrobianas (Kirschenbauer, 1964).

Surfactantes No iónicos

Sus propiedades hidrofílicas son provistas por hidratación de grupos amino, éter o hidroxilo (Hill y Kolb, 1999). Estos surfactantes no producen iones en soluciones acuosas y por lo tanto son compatibles con los demás tipos de surfactantes y pueden integrarse en formulaciones complejas. En general son buenos detergentes humectantes y emulsionantes razón por la cual se utilizan en detergentes líquidos o en polvos (Fernández et al., 2004). Son solubles en agua por que contienen varios átomos de oxígeno, los cuales atraen las moléculas de agua, haciéndose solubles en el agua (Sherman y Sherman, 1989).

Surfactantes Anfotéricos

Productos que según el pH de la solución puede presentar tanto cargas positivas como negativas al mismo tiempo, tal es el caso que en pH alcalinos los anfotericos actúan como agentes aniónicos, mientras que en un medio ácido tienen propiedades catiónicas y poseen combinaciones de grupos aniónicos y catiónicos (Kirschenbauer, 1964).

Mecanismo de acción de los surfactantes

Las moléculas de los surfactantes interactúan con los aceites y las grasas para emulsionarlos en el agua (Holum, 2001) ya que tiene una estructura bipolar, es decir, una parte de la molécula es hidrofóbica (soluble en grasa) que consisten en cadenas largas de carbohidratos, por lo que establece una conexión con la grasa, y la otra parte es hidrófila (soluble en agua), por lo que se une a la fase acuosa (Muller, 2000). Esta acción surfactante depende del balance del peso molecular de la porción o parte hidrofóbica y hidrofílica, la cual se le llama BHL o Balance Hidrófilo Lipófilo, un bajo número de BHL indica que el producto es más soluble en aceite y un alto número de BHL indica que el producto es más soluble en agua (Heredia, 2000).

Surfactantes de origen natural

Los surfactantes naturales son aquellos que provienen de fuentes naturales o vegetales que siguiendo un proceso de extracción y purificación, son obtenidos sin sufrir modificaciones químicas que alteren su estructura y biológicamente su condición natural. Hoy en día no existen muchos surfactantes naturales que cumplan exactamente con esta definición. Esta carencia no es por la disponibilidad natural, sino por los elevados costos de extracción (Fernández et al., 2004). Las lecitinas son surfactantes de origen natural, obteniéndose como un subproducto del refinado del aceite de soya, de la yema de huevo, frutas y de otros aceites las cuales están formadas por una mezcla de fosfolípidos los cuales tienen una acción emulsionante (Gunter et al., 1995) la cual consiste en la dispersión de una fase, dividida en gotas extremadamente diminutas, en otra fase con la que no es miscible logrando una mezcla estable y homogénea de dos líquidos que normalmente no pueden mezclarse (Kirschenbauer, 1964).

Monooleato de polioxietilén sorbitán

El monooleato de polioxietilén sorbitán (polisorbato 80) es un surfactante no iónico y emulsionante perteneciente al grupo de las lecitinas, derivado del sorbitól el cual es una sustancia obtenida de varias frutas y aceites. Polisorbato 80 es un líquido viscoso de color amarillo, con un BHL de 15, cuya función es la de agente dispersante entre mezclas de aceites y agua. Su nombre comercial es Tween 20, 40, 60, 80. El número (20, 40, 60, 80) depende según del ácido graso asociado con el sorbitán del polioxietileno; monolaurato se indica por 20 (aceite de coco), el monopalmitato se indica por 40, monostearato se indica por 60 (aceite de palma) y monooleato por 80 (aceite de olivo). (Well, Naturally Products LTD.)

Usos de los Surfactantes

Tween 80 está aprobado en el uso de productos alimenticios ya que es muy seguro puesto que no tiene ningún efecto tóxico, además de ser biodegradable (Food and Drug Administration). Basado en su seguridad, el polisorbato 80 es usado en productos farmacéuticos, cosméticos, como aditivos en nieves, preparación de vitaminas y minerales, salsas barbecue, gelatinas, quesos, etc. El uso de Tween 80 está aprobado en Australia, Brasil, China, República Checa, Unión Europea, Francia, Alemania, Italia, India, Japón, Noruega, Suiza, Estados Unidos, entre otros países (www.epic4health.com/tween80isits.html).

Uso de los surfactantes en la alimentación animal

Diversos trabajos de investigación han utilizado el Tween 80 y otros surfactantes para evaluar sus bondades en la producción animal y hasta el momento no se han obtenido resultados contundentes que nos permitan utilizar este producto en forma rutinaria en el ámbito agropecuario en este sentido, Zinn et al. (1998) realizaron un trabajo donde se evaluó el efecto de la temperización del grano mediante el uso de surfactante sobre el valor nutritivo del maíz en dietas de finalización para novillos de engorda llegaron a la conclusión de que el aumento en la concentración de surfactante puede mejorar la eficiencia energética del maíz y la eficiencia microbiana a nivel

ruminal reflejándose en el crecimiento del tejido magro. Wang et al. (2003) realizaron un estudio donde evaluaron los efectos del tween 80 sobre la digestión de fibra en procesos de fermentación in vitro y su interacción con monensina y enzimas fribrolíticas exógenas en dicho trabajo se concluyo que el surfactante puede tener potencial para mejorar los efectos positivos de la monensina en la producción de carne pero se requiere más investigación al respecto.

Plascencia et al. (2007) evaluaron la influencia de la suplementación de surfactante y el valor del macerado de paja de arroz sobre la digestión de la FDN en novillos en consumiendo una dieta de finalización. En dicho trabajo se concluyó que tanto en rendimiento como en digestión de la FDN no se apreciaron los efectos de la suplementación con surfactante. Cong et al. (2009) realizaron un trabajo en el cual evaluaron los efectos de diferentes surfactantes no iónicos sobre la fermentación de la FDN in vitro de pajas de cereales en el cual los resultados de este estudio sugieren que los surfactantes no iónicos pueden mejorar la fermentación in vitro de forrajes de baja calidad y pueden tener una aplicación potencial como aditivos para piensos en la producción de rumiantes.

CONCLUSIONES

Dadas las características de los AG que llegan a intestino (cantidad y grado de saturación) en rumiantes que son alimentados con dietas enriquecidas con grasas, la principal limitante en su adecuada utilización es aparentemente una emulsificación inadecuada. El mejorar el potencial emulsificante en intestino, permitiría el uso de niveles más elevados de grasa en las dietas sin menoscabo en el valor energético de las mismas.

El emulsificante Monoleato Sorbitano de Polioxietileno (Tween 80; **TW**), un surfactante no iónico posee un valor BHL (balance hidófilo lipófilo) de 15, este valor es casi el doble del BHL que posee la lecitina de soya (~8, McClements 2004). Compuestos con valor por encima de 12 actúan como emulsificantes “aceite en agua”; por lo tanto, dada las condiciones intestinales, el TW puede tener un uso potencial como aditivo alimenticio que promueva la absorción intestinal de los AG

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. DePeters, 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.
- Bickerstaffe, R., D.E. Noakes, and E.F. Annison. 1972. Quantitative aspects of fatty acid biohydrogenation, absorption and transfer into milk fat in the lactating goat, with special reference to the cis- and trans- isomers of octadecenoate and linoleate. *Biochem. J.* 130:607-617.
- 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.
- Brandt R.T., Jr, G. L. Kuhl, R. E. Campbell, C. L. Kastner, and S. L. Stroda. 1992. Effects of steam-flaked sorghum grain or corn and supplemental fat on feedlot performance, carcass traits, longissimus composition, and sensory properties of steers. *J. Anim Sci.* 70: 343-34.

- Broudiscou L., S. Pochet, and C. Poncet. 1994. Effect of linseed oil supplementation on feed degradation and microbial synthesis in the rumen of ciliate free and defaunated sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 49:189-202.
- 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 or oleic, linoleic and linolenic acids by sheep with reference to their effects on methane production. *Br. J. Nutr.* 20:349-361.
- Cong, Z. H., Tang, S. X., Tan, Z. L., Sun, Z. H., Zhou, C. S., Han, X. F., Wang, M. and Ren, G. P. 2009. Effects of different nonionic surfactants on in vitro fermentation characteristics of cereals straws. *J. Anim. Sci.*, 87-1085-1096.
- 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.
- Elizalde, J.C., C.G. Aldrich, D.W. LaCount, J.K. Drackley, and N. R. Merchen. 1999. Ruminal and total tract digestibilities in steers fed diet containing liquefied or prilled saturated fatty acids. *J. Anim. Sci.* 77:1930-1939.
- 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.
- Fernández A., J.L. Salager, y C. Scorzza. 2004. Cuaderno FIRP S 303-PP. Modulo de Enseñanza en Fenómenos Interfaciales. Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería y Escuela de Ingeniería Química. pp. 12-21.
- Food and Drug Administration. <http://www.fda.gov/>
- Firkins, J.L., and M.L. Eastridge. 1994. Assessment of the effect of iodine value on fatty acid digestibility, feed intake, and milk production. *J. Dairy Sci.* 77:2357-2366.
- Garnsworthy, P.C. 2002. Fats in dairy cow diets. Page 399 in *Recent Developments in Ruminant Nutrition 4*. J. Wiseman and P.C. 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.
- Gunter Vollmer, Gunter Josst, Dieter Schenker, Wolfgang Sturm y Nobert Vreden. 1995. Elementos de Bromatología Descriptiva. Ed. Acribia. pp. 62,63, 422.
- 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 on long-chain fatty acids and triglyceride. Appl. Bact. 37:633-641.
- Harfoot, C.G., 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.
- 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.
- Hawke, J.C., and W. R.Silcock. 1970. The in vitro rate of lipolysis and biohydrogenation in rumen contents. Biochim. Biophys. Acta. 218:201-212.
- Henderson, C. 1973. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. J. Agric. Sci. (Camb.) 81:107-112.
- Heredia S, Pablo Cesas. 2000. Surfactantes.
<http://www.monografias.com/trabajos14/tensoactivos/tensoactivos.shtml>
- Hill, w. Jhon y Kolb, K. Doris. 1999. Química para el Nuevo milenio. Editorial Prentice Hall 8 va. Edición. pp. 490 – 492.
- Holum John R. 2001. Fundamentos de Química General, Orgánica y Bioquímica para Ciencias de la Salud. Ed. Limusa Wiley. pp. 207-209,577.

- 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.
- Hurwitz, S., A. Bar, M. Katz, D. Skan, and P. Budowsky. 1973. Absorption and secretion of fatty acids and bile acids in intestine of the laying fowl. *J. of Nutr.* 103:543-547.
- Ikwuegbu, O.A., and J.D. Sutton. 1982. The effect of varying the amount of linseed oil supplementation on rumen metabolism in sheep. *Brit. J. Nutr.* 48:365-375.
- 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.
- Kato, S. K. Katoh, and W. Barej. 1991. Regulation of exocrine pancreatic secretion in ruminants. Page 89 in *Physiological aspects of digestion and metabolism in Ruminants*. T. Tsuda, Y. Sasaki and R. Kawashima, ed. *Proc. of 7th International Symp. on Ruminant Phys.* Academic Press. San Diego, CA.
- 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.
- Kirschenbauer H.G. 1964. *Grasas y Aceites Química y Tecnología*. Ed. Continental. pp. 171-187.

- 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.
- Laguna José y Peña Enrique. 2002. *Bioquímica de Laguna*. Ed.Manual Moderno 5ª edición. pp. 29.
- 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 tallow, saturated fatty acids and soybean oil supplemented diets by sheep. *J. Anim. Sci.* 35:890-895.
- Maczulak, A.E., B.A. Dehority and D.L. Palmquist. 1981. Effects of long-chain fatty 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.
- McClements, D.V. 2004. Food Emulsions. In: *Principles, Practices and Techniques* (2nd 257 ed.) CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Pp 9-174
- 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.
- Muller F. 2000. *Agrochemicals*. Ed. Wiley – VCH. pp. 710-713.

- 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.* 74:1354-1360.
- Palmquist, D.L., and H.R. Conrad. 1980. High fat rations for dairy cows. Tallow and 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.
- Palmquist, D. L. 1996. Utilizacion de lípidos en dietas de rumiantes. XII curso de Especializacion FEDNA, Madrid, 7 y 8 de Noviembre. p 2.
- 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., M. A. Cervantes, and R.A. Zinn. 2001. Influence of fat titer and method of addition on characteristics of ruminal and total tract digestion. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 52:548-550.
- 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., 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 grasos insaturados y ácido palmítico que fluyen a duodeno sobre la digestión intestinal de ácidos grasos en novillos con dietas de crecimiento-finalización suplementadas con grasa. XIII Reunión Internacional de Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos, Mexicali, B.C., 9-10 octubre, p 185-189.
- 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.
- Plascencia, A., G. Mendoza, C. Vazquez, and R.A. Zinn. 2004. Influence of levels of fat supplementation on bile flow and fatty acid digestion in cattle. *J. of Anim. and Vet. Adv.* 3:763-768.
- Plascencia, A, M. A. Lopez-Soto, M. F. Montaña, J. G. Serrano, R. A. Ware and R. A. Zinn. 2007. Influence of surfactant supplementation and maceration on the feeding value of rice straw in growing-finishing diets for Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 85:2575-2581.
- 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.
- Ruckebusch, Y., L.P. Phaneuf, and R. Dunlop. 1991. Physiology of small and large animals. Becker B.C., Inc. Philadelphia.PA.
- Sherman Alan y Sherman Sharon J. 1989. Chemistry and Our Chainging World Second Edition. Ed. Prentice – Hall. pp. 468-469.
- 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.* 35:353-360.
- Studzinski, T., and Bobowiec R. 1979. Effect of intra-duodenal administration of HCl and NaHCO₃ on the secretion and content of sodium, potassium and calcium in the pancreatic juice and bile of sheep. *Pol. Arch. Veter.* 22:205-217.
- Sukhija, P., and D. L. Palmquist. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuff and feces. *J. Agric. Food Chem.* 36:1202–1206.
- 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.
- Umbland J. B., Y Bellama, and M. Jon. 2000. *Química General*, 3^{ra} ed. Ed. Thomson Learning.London, UK.
- 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.
- Wang, Y., T.A. McAllister, J. Baah, R. Wilde, K.A. Beauchemin, L.M. Rode, J. A. Shelford, G. M. Kamande, and K. – J. Cheng. 2003. Effects of Tween 80 on in vitro fermentation of silages and interactive effects of tween 80, monensin and exogenous fibrolityc enzymes. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 16: 968-978.
- Well, Naturally Products LTD.
<http://www.wellnaturally.com/ingredients/tween80.html>
- 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.
- Wilbraham Antony C., Staley Dennis D., Simpson Candance J., Matta Michael S. 1987. *Chemistry*. Ed. Addison – Wesley Publishing. pp. 350,351.
- Wolin M. J.1960. A theoretical rumen fermentation balance. *J. Dairy Sci.* 43:1452-1459.
- 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.
- Wu, Z., J.T.Huber, F.T. Sleiman, J.M. Simas, K.H. Chen, S.C. Chan, and C. Fontes. 1993. Effect of three supplemental fat sources on lactation and digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:3562-3570.
- WWW.epic4health.com/tween80isits.html
- Xu, C., T. Wensing, and A. C. Beynen . 1998. Effects of high calcium intake on fat digestion and bile acid excretion in feces of veal calves. *J. Dairy Sci.* 81: 2173-2177.

- Yokoyama, M.T., and K.A. Johnson. 1988. Microbiology of the rumen and intestine Page125 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. 1990a. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. J. Anim. Sci. 68:767-775.
- 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. 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: 157-166.
- 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. 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. 1996. Effect of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets. J. Anim. Sci. 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, 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. 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.
- 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, R. A., and A. Plascencia. 2002. Influence of level and method of supplementation on the utilization of supplemental tallow fatty acids by feedlot steers. *J. of Anim. Vet. Adv.* 3:470-474.
- Zinn, R. A., and Plascencia A. 2007. Feed Value of supplemental fats used in Feedlot cattle. In: *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. L.C. Hollis and K.C. Olson (eds). W.B Saunders Co. Philadelphia, PA. USA. Pp.247- 291 268.

EXPERIMENTO I

Running Head: Abomasal infusion of surfactant on postruminal fatty acid digestion

Influence of abomasal infusion of different levels of the non-ionic surfactant Tween 80 on postruminal fatty acids digestion in steers fed a fat-supplemented, high-energy diet

H. DÁVILA-RAMOS¹, V.M. GONZÁLEZ-VIZCARRA², G. LOPEZ-VALENCIA²,
M.F. MONTAÑO³, A. PLASCENCIA⁴ Y.S. VALDÉS⁵, M. A. VEGA⁶ and R.A.
ZINN⁷

Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21100, México

Enviado al Indian Journal of Animal Science. Ref # MS-2120-8072

Key words: Cattle, Fat digestion, Surfactant, Tween 80

Present address: ^{1,6} Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Mexicali, México. Scholarship of Consejo nacional de Ciencia y Tecnología, México.

^{2,5} Assistant program research, Ruminant Nutrition and Biotechnology IICV-UABC, México.

^{3,4} Senior scientist, Ruminant Nutrition and Biotechnology IICV-UABC, México (aplas_99@yahoo.com; alejandro.plascencia@uabc.edu.mx).

⁷ Professor of Animal Science Department, University of California, Davis 95616, USA.

INTRODUCTION

Current standards (NRC 1996) for the NE_m and NE_g values of supplemental fats are 6.00 and 4.50 Mcal/kg. Estimates based on these values are consistent with empirically derived measures when total fatty acid intake did not exceed 0.86 g/kg of BW (Plascencia *et al.* 2003). When fatty acid intake exceeded 0.86 g/kg of BW, the NE value of fat declined (Zinn and Plascencia 2007). This decline is largely attributable to decreased postruminal fatty acid digestion, mainly stearic and palmitic acids (Zinn 1994; Plascencia *et al.* 2003). Plascencia *et al.* (2004) observed that with increasing level of fat supplementation, the bile:lipid ratio or emulsification capacity of intestinal chyme decreases. Polyoxyethylene sorbitan monooleate (Tween 80; **TW**), a non-ionic surfactant, has an HLB (hydrophile-lipophile balance) value of 15, almost 2-fold HLB value than natural soy lecithin (~8, McClements 2004). Compounds with HLB values greater than 12, act as “oil-in water-emulsifier”. Thus, TW may have potential as feed additive in ruminant diets to promote intestinal fatty acid absorption. The objective of the present experiment was evaluate the influence of varying levels of abomasal infusion of TW postruminal fatty acids digestion and DE value of a high-fat finishing diet fed to steers.

MATERIAL AND METHODS

Four Holstein steers (171 ± 8 kg) with T-type duodenal (6 cm of pyloric sphincter) and abomasal (fundic region) cannulas were used in a 4 x 4 Latin square design experiment. Steers were maintained in slotted-floor pens (6.2 m^2) with ad libitum access to water. The basal diet, containing (DM basis, g/kg): alfalfa hay, 80; sudangrass hay, 40; SF corn, 713; yellow grease, 60; cane molasses, 60; urea, 11, mineral supplement 32 and 4 g of chromic oxide as digesta marker. Calculated composition,

DM basis (NRC 1996) was: CP, 131 g/kg; EN_m, 2.34 Mcal/kg, ether extract, 93 g/kg, calcium, 7.0 g/kg, and phosphorus, 2.7 g/kg. Composition of the yellow grease (**YG**) used in this study was similar to the standards set by American Fats and Oils Association (AFOA 1988), and was very similar to with those used in previous studies (Plascencia *et al.* 2003; 2004). Dry matter intake was restricted to 4.3 kg/d fed in equal portions at 0800 and 2000 daily. Dietary treatments were prepared by transferring 0, 10.75, 21.50 or 32.25 mL of TW (Polysorbate 80; Sigma, St Louis, MO, USA) to a 2-L vol flask and diluting to volume with water. Treatments were infused into abomasums via the cannula at a continuous rate of 90 mL/h using a variable flow peristaltic pump (Variable Flow Mini-Pump II, VWR Scientific Products, West Chester, PA). providing 0, 2.5, 5.0 or 7.5 mL of TW/kg of basal diet fed. Infusing tubing (3.1 mm d.i. × 5.1 m Tygon[®]; Norton, Akron OH 44309-3660) was moored at the ceiling above each pen using 1 m lengths of 6.3 mm latex tubing to provide constant tension, permitting the free movement of steers during treatment infusion. The trial consisted of four 10-d periods. Each period was divided in two phases: the first 3 d was the non-infusion phase. The infusion phase began on d 4 and continued through d 10. Samples were taken twice daily on d 7 to d 10 as follow: d 7, 0750 and 1350; d 8, 0900 and 1500; d 9, 1050 and 1650; and d 10, 1200 and 1800 h. Individual samples consisted of approximately 500 mL duodenal chyme and 200 g (wet basis) of fecal material. Samples from each steer and within each collection period were composited for analysis. Samples were subjected to all or part of the following analysis: DM (oven drying at 105 °C until no further weight loss; AOAC, 1986); ash (AOAC 1986); gross energy (GE; adiabatic calorimeter bomb, model 1271 Parr Instrument Co. Moline IL, USA); chromic oxide (Hill and Anderson 1958) and fatty acids (Sukhija and Palmquist 1988). The trial data were analyzed using GML procedures (SAS Inst. Inc., Cary, NC)

based in a model for 4x4 Latin square experimental design. Treatment effects were tested by means of orthogonal polynomials. Treatment differences were considered to be significant when $P \leq 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSIONS

There were no treatment effects ($P > 0.05$) on posruminal FA digestion, averaging 80.3, 68.6, 84.9 and 82.8% for C16:0, C18:0, C18:1 and C18:2, respectively. The greater (15%) posruminal digestion of C16:0 vs. C18:0 is consistent with the concept that intestinal digestion of saturated fatty acids decreases with increasing chain length (Zinn 1989). Ruminal biohydrogenation was extensive. Whereas C18:0 comprised only 10.5% of fatty acid intake, it comprised 62.7% of total fatty acid flow to the small intestine. Total FA digestion averaged 73.7%, in close agreement with predicted (72.9%) based on level of FA intake (FA digestion, % = $87.56 - 8.591 \text{FA intake g/kg BW}$; Plascencia *et al.* 2003). There were no treatment effects ($P > 0.05$) on dietary DE.

Basis for the lack of exogenous surfactant effects on FA digestion is uncertain. The critical micelle concentration value for TW is from 0.01 to 0.016 (Bendikiene *et al.* 2008). Thus, whereas the dosage used in the present experiment were 0.037, 0.074 and 0.111 mL TW/g of FA intake, respectively, doses of TW as low as 0.01 mL/L are expected to have appreciable emulsification potential (Jiao and Burgess, 2002). Furthermore, Kan *et al.* (1999a) observed a synergistic effect of phosphatidylcholine (main component of bile salts) and TW. However, Simões *et al.* (2005) determined *in vitro* that TW, depending on amphipath (amphiphile) concentrations, requires considerable time (up to several hours) to disintegrated lipid membranes. In as much as transit time of chyme in the small intestine of cattle is relatively short (180 min; Gonzalez *et al.* 2003), it may have limited the effectiveness of TW.

Supplementation with soy lecithin (a natural emulsifier) in low (~3.7% of FA; Jenkins and Fotouhi 1990) and high (~8%; Zinn 1989) fat supplemented diets has likewise failed to enhance FA digestion. However, lecithin undergoes extensive ruminal degradation (Jenkins and Fotouhi 1990). Furthermore, Enjalbert *et al.* (2000) observed that pre-emulsification of fatty acids with 0.025% before direct duodenal infusion did not improve intestinal fatty acid digestion.

SUMMARY

Four Holstein steers were used in a 4 x 4 Latin square experiment to evaluate the potential benefits of the surfactant Tween 80 on intestinally fatty acids digestion. Tween 80 was infused continuously into the abomasu at rates of 0, 2.5, 5.0 and 7.5 mL/kg of a basal diet containing 93 g lipid/kg (DM basis). There were no treatment effects ($P > 0.05$) posruminal digestion of FA and dietary DE. Lack of response may have been due to insufficient intestinal retention time to manifest functional degree of emulsification of the FA.

ACKNOWLEDGEMENT

Authors are thankful to the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) for financial support. Fondo Ciencia Básica, Project No. 50344-Z.

REFERENCES

- AFOA. 1988. *Trading and Arbitration Rules*. American Fats and Oils Association, Inc. New York.
- AOAC. 1986. *Official methods of analysis*. 14th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. <http://www.aoac.org>
- Bendikiene V, Surinenaite B, Bachmatova I, Marcinekeviciene L, Juodka B. 2008. Tweens and ionic detergents in the hydrolytic activity of *Pseudomonas*

mendocina 3121-1 lipase. *Biologija* **54**:242-246.

<http://images.katalogas.lt/maleidykla/Bio74/Bendikiene....pdf>

Enjalbert F, Nicot M C, Bayourthe C and Moncoulon R. 2000. Effect of duodenal infusion of palmitic, stearic or oleic acids on milk composition and physical properties of butter. *Journal of Dairy Science* **83**:1428-1433.

<http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030200750120.pdf>

Gonzalez V M, Arellano E G, Mendoza G, Monge F G, Plascencia A, Silva-Peña E, Vazquez C and Zinn R A. 2003. Relative transite time of chyme between duodenal and jejunal segments of the small intestine of cattle. *Journal of Animal Science* **81** (Supplement 1):265.

<http://www.fass.org/phoenix03/abstracts/265.pdf>

Hill F N, and Anderson D L. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *Journal of Nutrition* **64**:587-603.

<http://jn.nutrition.org/cgi/reprint/64/4/587>

Jenkins T C and Fotouhi N. 1990. Effects of lecithin and corn oil on site of digestion, ruminal fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *Journal of Animal Science* **68**:460-466.

<http://jas.fass.org/cgi/reprint/68/2/460?maxtoshow=&hits=10&RESULTFORMAT=&author1=jenkins&searchid=1&FIRSTINDEX=50&resourcetype=HWCIT>

Kan P K, Chen Z B, Kung R Y, Lee C J and Chu I M. 1999. Study on the formulation of o/w emulsion as carriers for lipophilic drugs. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **15**:117-125.

NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th edn. National Academy Press, Washington, DC. pp 138.

- Plascencia A, Mendoza G D, Vazquez C and Zinn R A. 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *Journal of Animal Science* **81**:2653-2659.
<http://jas.fass.org/cgi/content/full/81/11/2653?maxtoshow=&hits=10&RESULTFORMAT=&author1=plascencia&andorexactfulltext=and&searchid=1&FIRSTINDEX=0&sortspec=relevance&resourcetype=HWCIT>
- Plascencia A, Mendoza G D, Vazquez C and Zinn R A. 2004. Influence of levels of fat supplementation on bile flow and fatty acid digestion in cattle. *Journal of Animal and Veterinary Advances* **3**:763-768.
<http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/javaa/2004/763-768.pdf>
- Simões S I, Tapadas J M, Marques C M, Cruz M E M, Martins M B F and Cevc G. 2005. Permeabilisation and solubilisation of soybean phosphatidylcholine bilayer vesicles, as membrane models, by polysorbate, Tween 80. *European Journal of Pharmaceutical Science* **26**:307-317.
http://www.idea-ag.de/web/img/press_clippings/EJPS-05_Tween.pdf
- Sukhija P and Palmquist D L. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuff and feces. *Journal of Agriculture Food Chemist* **36**:1202-1206.
- Zinn R A. 1989. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: Metabolism. *Journal of Animal Science* **67**:1038-1049.
<http://jas.fass.org/cgi/reprint/67/4/1038?maxtoshow=&hits=10&RESULTFORMAT=&author1=zinn&andorexactfulltext=and&searchid=1&FIRSTINDEX=0&sortspec=relevance&resourcetype=HWCIT>

- Zinn R A. 1994. Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth performance and digestive function. *Professional Animal Scientist* **10**:66-72.
- Zinn R A and Plascencia A. 2007. Feed Value of supplemental fats used in Feedlot cattle. *Veterinary Food Animal Practice*. (Eds) L.C. Hollis and K.C. Olson. Elsevier, Mosby Saunders. Phil. USA. pp247-268.

Table 1 Effect of different levels of surfactant abomasally infused on fatty acid digestion and diet DE in cannulated Holstein steers fed a fat supplemented, high-energy diet

	Tween infused, mL/kg of diet fed				
Item	0	2.5	5	7.5	SEM
Intake,g/d					
DM	3,732	3,730	3,749	3,727	
c16:0	92.3	92.2	92.7	92.1	
c18:0	30.5	30.5	30.6	30.5	
c18:1	135.7	135.7	136.4	135.5	
c18:2	27.9	27.9	28.0	27.8	
TFA	290.9	290.7	292.2	290.5	
EG, Mcal/d	17.80	17.79	17.88	17.77	
Flow to duodenum, g/d					
c16:0	51.7	56.9	55.0	56.4	1.6
c18:0	183.5	187.1	200.3	198.0	6.4
c18:1	50.9	57.7	45.0	50.4	5.4
c18:2	8.4	9.3	8.2	8.2	1.2
TFA	295.6	310.9	308.5	313.0	8.5
Fecal excretion, g/d					
c16:0	11.4	11.4	10.4	10.0	0.89
c18:0	59.4	59.9	61.6	62.4	5.56
c18:1	7.6	8.5	6.6	7.1	1.20
c18:2	1.3	1.7	1.4	1.4	0.10
TFA	79.7	81.4	80.0	80.9	6.70
EG, Mcal/d	4.01	3.90	3.91	3.91	0.10
Postruminal digestion, %					
c16:0	78.17	79.97	81.08	81.99	1.90
c18:0	68.14	68.65	69.20	68.51	2.98
c18:1	84.99	83.76	85.39	85.52	2.39
c18:2	84.31	82.89	82.57	81.49	3.10
TFA	73.11	73.76	74.06	73.93	2.65
Digestible energy					
DE, %	77.61	78.06	78.12	77.97	0.87
DE, Mcal/kg	3.70	3.72	3.73	3.72	0.41

EXPERIMENTO II

Running Header: Surfactant method addition in diet on feed value of supplemental fat

Influence of method of surfactant supplementation on characteristics of digestion and feeding value of fat in Holstein steers fed a high-energy finishing diet

H. Dávila-Ramos^{1*}, A. González-Castellón^{1*}, A. Barreras-Serrano¹, A. Estrada-Angulo², M.A. López-Soto¹, J.V. Macías-Zamora¹, A. Plascencia^{1,2}, S. H. Vega^{1*}, R.A. Zinn³

¹Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21100, Baja California, México

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán 1084, Sinaloa, México

³Department of Animal Science, University of California, Davis 95616, USA.

Enviado al Journal of Applied Animal Research. Ref# 2025

2 Corresponding author: Alejandro Plascencia. e-mail: aplas_99@yahoo.com

* Scholarships of the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología México.

Abstract

Four Holstein steers (271± 11 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used to study the influence of method of surfactant (Tween 80) supplementation on characteristics of digestion and feeding value of fat. Treatments consisted of a steam-flaked corn-based finishing diet supplemented with: 1) no supplemental fat, no surfactant; 2) 6% supplemental fat (yellow grease, no surfactant; 3) 5.75% supplemental fat plus 0.25% Tween 80 (TW) added to the diet as part of the premix (TW was mixed with premix before incorporation with grain in the mixer, as second step in diet preparation), and 4) 5.75% supplemental fat plus 0.25% TW combined directly with the supplemental fat (TW was mixed with supplemental fat before incorporation into the feed mix as penultimate step in diet preparation). There were no surfactant by supplemental fat interactions ($P > 0.05$). Surfactant did not affect ($P > 0.05$) site and extent of OM, starch, N, ADF, and fatty acid digestion, or DE value diet. Supplemental fat decreased ($P < 0.05$) ruminal and total tract digestion of OM and ADF and increased ($P < 0.05$) the DE value of diet. The decrease in postruminal FA digestion was mainly due to decreased ($P < 0.05$) digestion of C18:0. Digestible energy of supplemental fat averaged 6.87Mcal/kg. It is concluded, that independently of method of addition, supplementing high-fat diets with 0.22% of Tween 80 does not influence site and extent of digestion or the feeding value of supplemental fat.

Key words: Digestion, fat, ruminants, surfactants, Tween 80.

Introduction

Current standards (NRC, 1996) for the NE_m and NE_g values of supplemental fats are 6.00 and 4.50 Mcal/kg. Estimates based on these values are consistent with empirically derived measures when total fatty acid intake did not exceed 0.86 g/kg of BW (Plascencia *et al.*, 2003). When fatty acid intake exceeds 0.86 g/kg of BW, the NE value of fat declines (Zinn and Plascencia, 2007). This decline is attributable to decreased postruminal fatty acid digestion of saturated fatty acids (mainly stearic and palmitic acids; Zinn, 1994; Plascencia *et al.*, 2003). Plascencia *et al.* (2004) observed that with increasing level of fat supplementation, the bile:lipid ratio or emulsification capacity of intestinal chyme decreases. Supplementation with soy lecithin (a natural emulsifier) in low (~3.7% of FA; Jenkins and Fotouhi, 1990) and high (~8%; Zinn, 1989) fat supplemented diets has likewise failed to enhance FA digestion. However, lecithin undergoes extensive ruminal degradation (Jenkins and Fotouhi, 1990). Furthermore, Enjalbert *et al.* (2000) observed that pre-emulsification of fatty acids with 0.025% before direct duodenal infusion did not improve intestinal fatty acid digestion.

Polyoxyethylene sorbitan monooleate (Tween 80; **TW**), a non-ionic surfactant, has an HLB (hydrophile-lipophile balance) value of 15, almost 2-fold HLB value than natural soy lecithin (~8, McClements, 2004). Compounds with HLB values greater than 12, act as “oil-in water-emulsifier”. Thus, TW may have potential as feed additive in ruminant diets to promote intestinal fatty acid absorption. To our knowledge, the use of TW as feed additive on their effects on digestive function and feed value of fats in ruminants have not been previously examined. The objective of this experiment was evaluated the influence of TW method addition in fat-supplemented high-energy diets on digestion and feed value of supplemental fat in cannulated Holstein steers.

Materials and Methods

Four Holstein steers (271 ± 11 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used to study the influence of method of surfactant (Tween 80) supplementation on characteristics of digestion and feeding value of supplemental fat. Treatments consisted of a steam-flaked corn-based finishing diet supplemented with: 1) no supplemental fat, no surfactant; 2) 6% supplemental fat (yellow grease, no surfactant; 3) 5.75% supplemental fat plus 0.25% Tween 80 (**TW**; IFN 8-08-031) added to the diet as part of the premix (TW was mixed with premix before incorporation with grain in the mixer (Leon Weill mixer, model 30910-7, Coyoacán, Mexico), as second step in diet preparation), and 4) 5.75% supplemental fat plus 0.25% TW combined directly with the supplemental fat (TW was mixed with supplemental fat before incorporation into the feed mix as penultimate step in diet preparation). The basal diet contained (DM basis, g/kg): Steam-flaked corn, 779; alfalfa hay, 80; sudangrass hay, 40; cane molasses, 70; urea, 11; limestone 11; trace mineral salt, 5 and 4 g of chromic oxide as digesta marker. Dry matter intake was restricted to 2% of BW. Composition of supplemental yellow grease was similar to that used in previous studies (Plascencia *et al.*, 2003; 2004). Facilities and protocols for steers feeding, sampling procedures, laboratory analyses and calculations were identically for those that were described previously by Plascencia *et al.* (2008). The trial data were analyzed using GML procedures (SAS Inst. Inc., Cary, NC) based in a model for 4x4 Latin square experimental design. Treatments effects were tested using orthogonal contrast as follows 1) T1 vs. T2, T3 and T4; T2 vs. T3 and T4 and T3 vs. T4. Treatment differences were considered to be significant when $P \leq 0.05$.

Result and Discussions

Treatments effects on and site and extent of digestion of OM, N, starch, ADF are shown in Table 1. There were no treatment interactions ($P > 0.05$), nor did supplemental TW affect ($P > 0.05$) site and extent of OM, starch, N, ADF, and FA digestion, or DE value of diet.

Apart from its use as a dispersant in milk replacers (Jenkins and Emmons, 1984), no research has been reported that evaluates the use of TW for enhancement of digestive processes in cattle. Addition of surfactant TW enhanced *in vitro* digestion of fiber and protein (Kamande *et al.*, 2000; Goto *et al.*, 2003; Cong *et al.*, 2009). *In vivo*, however, results have not been consistent. Digestion of orchardgrass fed to non-lactating cows was not improved by supplementation with 0.20% TW (Baah *et al.*, 2005). Likewise, addition of 0.02% TW to either high forage or concentrate diets did not improve nutrient digestion in lambs (McAllister *et al.*, 2000) or feedlot steers (Plascencia *et al.*, 2007). Cong *et al.* (2009) speculated that inconsistencies in responses might be due to differing dosage levels; however, Kim *et al.* (2004) observed improved digestion of DM and fiber in steers fed a growing diet containing 40% of rice straw supplementation and supplemented with 10 g/d TW; approximately 60% of dosage used in the present study.

Fat supplementation decreased ($P < 0.05$) ruminal and total tract digestion of OM (5.8 and 3.1%) and ADF (36.2 and 25.6%), and increased ($P < 0.01$, 4.5%) the DE value of diet. Decreased on ruminal OM digestion has been a consistent response to higher levels of fat supplementation (Zinn, 1994; Zinn and Shen, 1996). This effect is due to decreased ruminal fiber digestion, and the ruminal “indigestibility” of fat itself (Zinn *et al.*, 2000, Plascencia *et al.*, 2003).

Given that DE value of SF corn is 4.10 Mcal/kg (NRC, 1996), the replacement DE value of supplemental fat can be estimated as follows:

Fat DE, Mcal/kg =(ED supplemented diet – ED unsupplemented diet/0.060) + 4.1

The constant (0.060) represents the average of amount of fat plus TW that replaced steam-flaked corn in the fat supplemented diets. Assuming the DE of TW is 0%, then the DE value of yellow grease is 7.1 Mcal/kg (6.81/0.958). This value represents 97% of the tabular value for supplemental fat (NRC, 1996). The lower DE value for supplemental fat is attributable to decreased postruminal fatty acid digestion observed at higher levels of total fat intake (Plascencia *et al.*, 2003; Zinn and Plascencia, 2007).

Treatments effects on postruminal fatty acid digestion are shown in Table 2. Basis for the lack of surfactant effects on FA digestion is not certain. We had hypothesized that whereas the bile:lipid ratio of intestinal chime decreases as level of fat supplementation increases (Plascencia *et al.*, 2004), supplementation of high-fat diets with an emulsifier would promote intestinal fat digestion. The critical micelle concentration value for TW is from 0.01 to 0.016 (Bendikiene *et al.*, 2008). Thus, whereas the dosage used for T4 (TW on fat) in the present experiment was 0.043 mL of TW/g of supplemental fat, doses of TW as low as 0.01 mL/L are expected to have appreciable emulsification potential (Jiao and Burgess, 2002). Furthermore, Kan *et al.* (1999a) observed a synergistic effect of phosphatidylcholine (main component of bile salts) and TW. However, Simões *et al.* (2005) determined *in vitro* that TW, depending on amphipath (amphiphile) concentrations, requires considerable time (up to several hours) to disintegrated lipid membranes.

Consisted with previous reports (Plascencia *et al.*, 2003; Kucuk *et al.*, 2004), supplemental fat decreased postruminal FA digestion, mainly due to decrease digestion of C18:0. Across of fat-supplemental diets, the decline in postruminal digestion was 6.9-fold greater for C18:0 than for C16:0; consistent with the concept that intestinal digestion of saturated fatty acids decreases with increasing chain length (Zinn, 1989). Furthermore, whereas C18:0 comprised only 10.8% of fatty acid intake, it comprised 63.3% of total fatty acid flow to the small intestine. Hence, decreased digestion of

C18:0 explains most of the depression in total intestinal FA digestion due to fat supplementation (Zinn and Plascencia, 2007).

Across fat supplemented diets treatments, post-ruminal FA digestion averaged 76.8%, slightly (4%) greater than predicted (73.8%) based on level of fat intake (FA digestion, % = $87.56 - 8.591\text{FAI}$; Plascencia *et al.*, 2003). Given that one gram of intestinally digestible fat (**IDF**) has a ME value of 9 Kcal (100% of its physiological fuel value); and the partial efficiency of utilization of ME from dietary fat for BW gain is 67% (Czerkawsky *et al.*, 1966; Garrett, 1980; Zinn, 1994), the NE_g value of dietary fat was 6.03 Kcal/g IDF. Applying the observed digestibility value (76.8), the NE_g values for the yellow grease used in this study is 4.63. Corresponding NE_m values are 5.74 Mcal/kg [where $\text{NE}_m = (\text{NE}_g + 0.41)/0.877$; derived from NRC, 1984], this energy value represent 95% of the tabular value of NRC (1996).

It is concluded, that independently of method of addition, supplementation of a high-fat finishing diet with 0.22% Tween 80 does not enhance diet digestion or the feeding value of supplemental fat.

Acknowledgement

Authors are thankful to the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) for financial support. Fondo Ciencia Básica, Project No. 50344-Z.

References

Baah, J., Shelford, J.A., Hristov, A.N., McAllister, T.A. and Cheng, K. J. 2005. Effects of Tween 80 and fibrolytic enzymes on ruminal fermentation and digestibility of feeds in Holstein cows. *Asian-australas. J. Anim. Sci.*, 18:816–824.

- Bendikiene, V., Surinenaite, B., Bachmatova, I., Marcinekeviciene, L. and Juodka, B. 2008. Tweens and ionic detergents in the hydrolytic activity of *Pseudomonas mendocina* 3121-1 lipase. *Biologija*, 54:242-246.
- Cong, Z.H., Tang, S. X., Tan, Z. L., Sun, Z. H., Zhou, C.S., Han, X.F., Wang, M. and Ren, G. P. 2009. Effects of different nonionic surfactants on *in vitro* fermentation characteristics of cereal straws. *J. Anim. Sci.*, 87:1085-1096.
- Czerkawsky, J. W., Blaxter, L. and Wainman F. W. 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.
- Enjalbert, F., Nicot, M. C., Bayourthe, C. and Moncoulon, R. 2000. Effects of duodenal infusions of palmitic, stearic, or oleic acids on milk composition and physical properties of butter. *J. Anim. Sci.*, 83:1428-1433.
- Garret, W. N. 1980. Energy utilization of growing cattle as determined in seventy-two comparative slaughter experiments. In: *Energy Metabolism*. Butterworths, London. Pp3 -7.
- Goto, M., Bae, H., Lee, S. S., Yahaya, M. S., Karita, S., Wanjae, K. and Cheng, K. J. 2003. Effects of surfactant Tween80 on forage degradability and microbial growth on the *in vitro* rumen mixed and pure cultures. *Asian-australas. J. Anim. Sci.*, 16:672-676.
- Jenkins, K.J. and Emmons, D.B. 1984. Tolerance of calves to fat peroxides in milk replacer. *J. Dairy Sci.*, 67:592-597.
- Jenkins, T. C. and Fotouhi, N. 1990. Effects of lecithin and corn oil on site of digestion, ruminal fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Anim. Sci.*, 68:460-466.
- Jia, J. and Burgess, D. J. 2003. Rheology and stability of water-in-oil-in-water multiple emulsions containing Span 83 and Tween 80. *AAPS PharmSci.*, 5 (1) Article 7 (<http://www.pharmsci.org>). accessed June 22, 2010.
- Kamande, G. M., Baah, J., Shelford, J. A., Cheng, K. J. and McAllister, T. A. 2000. Effects of Tween 60 and Tween 80 on protease activity, thiol group reactivity, protein absorption, and cellulose degradation by rumen microbial enzymes. *J. Dairy Sci.*, 83:536-542.
- Kan, P. K., Chen Z. B., Kung, R. Y., Lee, C. J. and Chu, I. M. 1999. Study on the formulation of o/w emulsion as carriers for lipophilic drugs. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.*, 15:117-125.
- Kim, C. H., Kim, J. N., Ha, J. K., Yun, S. G. and Lee, S. S. 2004. Effects of dietary addition of surfactant Tween 80 on ruminal fermentation and nutrient digestibility of Hanwoo steers. *Asian-australas. J. Anim. Sci.*, 17:337-342.

- Kucuk, O., Hess, B.W. and Rule, D. C. 2004. Soybean oil supplementation of a high-concentrate diet does not affect site and extent of organic matter, starch, neutral detergent fiber, or nitrogen digestion, but influences both ruminal metabolism and intestinal flow of fatty acids in limit-fed lambs. *J. Anim. Sci.*, 82:2895-2994.
- McAllister, T. A., Stanford, K., Bae, H. K., Treacher, R. J., Hristov, A.M., Baah, J., Shelford, J. A. and Cheng, K. J. 2000. Effect of a surfactant and exogenous enzymes on digestibility of feed and on growth performance and carcass traits of lambs. *Can. J. Anim. Sci.*, 80:35-44.
- McClements, D.V. 2004. Food Emulsions. In: *Principles, Practices and Techniques* (2nd ed.) CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Pp 9-174.
- NRC. 1984. *Nutrient Requirement of Beef Cattle*. (6th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 1996. *Nutrient Requirement of Beef Cattle*. (7th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Plascencia, A., Alvarez, E. G., Dávila-Ramos, H., Montaña, M. F., Valdéz, Y. S. and Zinn, R. A. 2008. Influence of fat titer and method of addition on characteristics of ruminal and total tract digestion *J. Anim. Vet. Adv.*, 7:145-148.
- Plascencia, A., Lopez-Soto, M. A., Montaña, M. F., Serrano, J., Ware, R. A. and Zinn, R. A. 2007. Influence of surfactant supplementation and maceration on the feeding value of rice straw in growing-finishing diets for Holstein steers. *J. Anim. Sci.*, 85:2575-2581.
- Plascencia, A., Mendoza, G., Vazquez, C. and Zinn, R. A. 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 81:2653-2659.
- Plascencia, A., Mendoza, G., Vazquez, C. and Zinn, R. A. 2004. Influence of levels of fat supplementation on bile flow and fatty acid digestion in cattle. *J. of Anim. and Vet. Adv.*, 3:763-768.
- 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. Gulati, S. K , Plascencia, A. and Salinas, J. 2000. Influence of ruminal biohydrogenation on the feeding value of fat in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 78:1738-1746.
- Zinn, R. A. and Plascencia A. 2007. Feed Value of supplemental fats used in Feedlot cattle. In: *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. L.C. Hollis and K.C. Olson (eds). W.B Saunders Co. Philadelphia, PA. USA. Pp.247-268.

Zinn, R. A. and Shen, Y. 1996. Interaction of dietary calcium and supplemental fat on digestive function and growth performance in feedlot steers. *J. Anim. Sci.*, 74:2303-2309.

Table 1
Influence of surfactant Tween 80 method addition in fat-supplemented diet on
characteristics of digestion in cannulated Holstein steers (271 kg BW)

	6% supplemental fat ^a				SEM
	No fat	No TW	TW- premix	TW- fat	
<i>Intake, g/d</i>					
DM	5,406	5,458	5,470	5,479	
OM	5,115	5,180	5,183	5,199	
Starch	2,575	2,394	2,413	2,400	
ADF	374	357	371	366	
N	104	101	103	101	
Gross energy, Mcal/d	23.59	25.82	25.83	25.97	
<i>Ruminal digestion,% intake</i>					
OM ^b	60.7	55.4	57.6	58.6	1.5
Starch	85.3	85.5	84.4	85.6	1.1
ADF ^b	32.83	20.44	20.36	21.99	2.2
Feed N	55.57	54.27	55.01	56.02	1.4
Microbial efficiency ^c	22.25	20.92	21.55	21.59	1.4
N efficiency ^d	1.00	1.06	1.03	1.02	0.02
<i>Postruminal digestion, % leaving abomasum</i>					
OM	63.00	61.39	60.24	60.80	1.08
Starch	94.25	92.52	93.90	94.65	1.8
ADF	10.62	9.91	11.17	8.20	1.2
N	67.68	68.43	69.30	69.12	2.3
<i>Total tract digestion, % intake</i>					
OM ^b	81.27	78.35	78.61	79.31	0.3
Starch	99.24	98.78	99.01	99.30	0.2
ADF ^b	39.75	30.88	29.41	28.47	1.9
N	66.65	65.19	67.25	67.15	1.9
DE, Mcal/kg ^b	3.49	3.648	3.65	3.66	0.01
Observed fat DE, Mcal/kg		6.73	6.82	6.93	0.23

^a No TW = 6% supplemental fat in diet without TW; TW-premix = 5.75% supplemental fat plus 0.25% TW in diet, TW was mixed first with premix and added to the mixer as second step in diet preparation, and TW-fat = 5.75% supplemental fat plus 0.25% TW in diet, TW was mixed first with fat and added to the mixer as penultimate step in diet preparation.

^b No fat vs. supplemental fat effect (P<0.05).

^c Duodenal microbial N, g kg⁻¹ OM fermented in the rumen.

^d Duodenal non-ammonia N, g · g⁻¹ N intake.

Table 2
Influence of surfactant Tween 80 method addition in fat-supplemented diet on fatty acid digestion in cannulated Holstein steers (271 kg BW)

		6% supplemental fat ^a			
	No fat	No TW	TW-premix	TW-fat	SEM
<i>Intake, g/d</i>					
C16:0	39.9	151.9	144.0	142.8	1.3
C18:0	5.7	48.6	46.9	45.9	0.5
C18:1	44.6	193.5	196.4	193.0	1.9
C18:2	34.2	43.1	52.7	55.3	0.3
Total	124.4	437.1	439.9	436.9	3.8
Total FA intake g/kg BW	0.46	1.61	1.62	1.61	--
<i>Flow to duodenum, g/d</i>					
C16:0 ^b	25.0	79.1	82.4	81.0	1.9
C18:0 ^b	71.9	278.5	293.3	279.1	13.8
C18:1 ^b	36.4	81.9	68.2	73.7	9.2
C18:2	6.1	9.6	8.7	9.2	1.1
Total ^b	139.4	449.1	452.6	443.0	13.9
<i>Fecal excretion g/d</i>					
C16:0 ^b	3.7	13.5	14.6	12.1	0.9
C18:0 ^b	11.5	82.6	85.6	68.8	6.7
C18:1 ^b	3.6	8.8	9.1	8.3	0.5
C18:2 ^b	1.3	2.9	2.1	1.7	0.1
Total ^b	20.0	106.8	111.4	90.9	7.8
<i>Postruminal digestion, %</i>					
C16:0	85.4	82.9	82.5	85.2	0.9
C18:0 ^b	85.3	70.4	71.5	75.5	1.4
C18:1	89.5	88.0	86.6	88.6	1.6
C18:2	78.6	78.6	76.0	80.6	4.3
Total ^b	86.3	76.1	75.9	78.6	1.1

^a No TW = 6% supplemental fat in diet without TW; TW-premix = 5.75% supplemental fat plus 0.25% TW in diet, TW was mixed first with premix and added to the mixer as second step in diet preparation, and TW-fat = 5.75% supplemental fat plus 0.25% TW in diet, TW was mixed first with fat and added to the mixer as penultimate step in diet preparation.

^b No fat vs. supplemental fat effect (P<0.05).