

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



**“INFLUENCIA DEL MÉTODO DE ADICIÓN DEL SURFACTANTE TWEEN 80 A
DIETAS DE FINALIZACIÓN ENRIQUECIDAS CON GRASA: UTILIZACIÓN DE
NUTRIMENTOS Y VALOR ENERGÉTICO DE LA DIETA”**

TESIS

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

PRESENTA:

MVZ. ALEJANDRO GONZÁLEZ CASTELLÓN

DIRECTOR DE TESIS

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

ASESORES

DR. JOSÉ FERNANDO CALDERÓN CORTÉS

MC. MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ SOTO

DR. ALBERTO BARRERAS SERRANO

MEXICALI, B. C., MÉXICO

SEPTIEMBRE DE 2010

Influencia del Método de Adición del Surfactante Tween 80 a Dietas de Finalización Enriquecidas con Grasa: Utilización de Nutrimentos y Valor Energetico de la Dieta. Tesis presentada por Alejandro González Castellón como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

DR. Alejandro Plascencia Jorquera

Director principal/

DR. José Fernando Calderón Cortés

Asesor/

MC. María Alejandra López Soto

Asesor/

DR. Alberto Barreras Serrano

Asesor/

AGRADECIMIENTOS

A Dios: Por prestarme vida para disfrutar esta etapa que está llena de alegrías y satisfacciones, pero lo más importante poder compartirlas a lado de las personas que más quiero.

A mis Padres: Alejandro y Ana Hilda porque mejores no pudo darme Dios e independientemente de sus regaños, alegrías, desvelos y besos siempre tienen las palabras más lindas para impulsarme a seguir adelante y luchar por lo que quiero, los AMO con toda mi alma.

A mis Hermanos: Cinthia Lizeth, Cruz Antonio y Gloria Teresa porque son lo máximo y aunque a veces no compartimos las mismas ideas, nada tiene que ver con el amor y respeto que les tengo, a mis sobrinitos Karlos Giovanni y José Eduardo porque son la alegría de nuestra familia.

A mis Abuelos: Alejandro y Juan de la Cruz que gracias a su sabiduría y consejos me han guiado por el camino del bien, Dios me los conserve muchos años más y a mis dos abuelitas Teresa y María del Carmen que ya no están con nosotros pero desde el cielo nos dan sus bendiciones y siempre estarán en nuestra memoria.

A toda mi Familia: A cada uno de mis tíos, primos, cuñados, cuñada ya que siempre me echaron la mano y su buena vibra, a ti Victoria muy en especial por tus muestras de cariño y preocupación siempre.

A mi Director de Tesis: Dr. Alejandro Plascencia Jorquera mi más sincero agradecimiento por su interés en ayudarme en todo momento y situación por sus consejos y comentarios siempre para bien, gracias por hacer de mi no solo un mejor profesionalista si no una mejor persona.

A mis Amigos: A todos y cada uno de ustedes gracias por su amistad porque la verdad que sin su apoyo y cariño esta etapa de mi vida no sería tan inolvidable muchas gracias por estar ahí para impulsarme a salir adelante.

A mis Asesores y Maestros UAN/IICV: A todos y cada uno de ustedes por colaborar con mi formación profesional y porque no decirlo, por hacerme pensar que todas las cosas se pueden lograr siempre con empeño y dedicación.

A las Instituciones: A la Universidad Autónoma de Nayarit por formarme como MVZ. A la Universidad Autónoma de Baja California por darme la oportunidad de estudiar una Maestría al Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias por abrirme las puertas de sus aulas y al CONACYT por el sustento económico brindado.

CONTENIDO

	Pág
Lista de Cuadros	i
Lista de Figuras	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Introducción.....	1
Hipótesis.....	3
Objetivo.....	4
Revisión de Literatura.....	5
Fuentes y tipos de grasas.....	5
<i>Grasa amarilla</i>	5
<i>Sebo</i>	5
<i>Grasas mezcladas</i>	7
<i>Extractos de jabón y otras fuentes de grasa altas en AGL</i>	7
Valor energético de las grasas	7
Factores que inciden en la digestibilidad de las grasas en bovinos de engorda.....	9
Factores intrínsecos.....	9
<i>Aceptabilidad</i>	9
<i>Ácidos grasos libres (AGL)</i>	9
<i>Proporción de saturados: insaturados</i>	11
Factores extrínsecos.....	14
<i>Nivel de inclusión</i>	14
Descripción de los surfactantes.....	20
Clasificación de los surfactantes.....	21

<i>Surfactantes aniónicos</i>	21
<i>Surfactantes catiónicos</i>	22
<i>Surfactantes no iónicos</i>	22
<i>Surfactantes anfotéricos</i>	22
Mecanismo de acción de los surfactantes.....	22
Surfactantes de origen natural.....	23
Monooleato de polioxietilen sorbitan.....	23
Usos de los surfactantes.....	24
Uso de los surfactantes en la alimentación animal.....	24
Conclusiones.....	26
Literatura Citada.....	27
EXPERIMENT I.....	39
<i>Abstract</i>	40
<i>Introduction</i>	41
<i>Materials and Methods</i>	42
<i>Results And Discussion</i>	43
<i>Acknowledgement</i>	46
<i>References</i>	46

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Pág
1	Composición química promedio y perfil de AG de las principales grasas alimenticias utilizadas en engorda de ganado.....	6
2	Digestibilidad posruminal de las distintas fuentes de grasa.....	16
3	Influence of surfactant Tween 80 method of addition in a fat supplemented diet on characteristics of digestion in cannulated Holstein steers (271 kg BW).....	50
4	Influence of surfactant Tween 80 method of addition in a fat supplemented diet on fatty acid digestion in cannulated Holstein steers (271 kg BW)	52

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág
1	Influencia del nivel de consumo de ácidos grasos sobre su digestión intestinal.....	19

RESUMEN: Cuatro novillos Holstein (271 ± 11 kg) con cánulas en rumen y duodeno proximal fueron usados para estudiar la influencia del método de suplementación del surfactante tween 80 sobre las características de digestión y valor alimenticio de la grasa. Los tratamientos consistieron en una dieta de finalización a base de maíz hojueado con o sin grasa suplementaria y/o surfactante (**TW**) como sigue : 1) sin grasa suplementaria, sin TW; 2) con 6% de grasa suplementaria (grasa amarilla) sin TW 3) 5.75% de grasa suplementaria más 0.25% TW adicionado a la dieta como parte de la premezcla mineral (el Tween 80 fue mezclado con la premezcla antes de su incorporación con el grano en el mezclador como segundo paso en la preparación de la dieta) y 4) 5.75 de grasa suplementaria mas 0.25% TW combinado directamente con la grasa suplementaria (el Tween fue mezclado con la grasa antes de la incorporación con la mezcla del alimento como penúltimo paso en la preparación de la dieta). No hubo interacciones del surfactante con la grasa suplementaria ($P > 0.05$). El surfactante no afectó ($P > 0.05$) el sitio y extensión de la digestión de la MO, almidón, N, FDA, digestión de los AG o el valor de ED de la dieta. La grasa suplementaria disminuyó ($P > 0.05$) la digestión ruminal y de tracto total de la MO y FDA, e incrementó ($P > 0.05$) el valor de la ED de la dieta. Se presentó una disminución de la digestión postruminal de los AG, y esta fue principalmente debido al decremento ($P > 0.05$) en la digestión del C18:0. La energía digestible de la grasa suplementaria promedió 6.87 Mcal/kg. Se concluye que, independientemente del método de adición, la suplementación de dietas altas en grasa con 0.25% de tween 80 no afecta el sitio y extensión de la digestión y el valor alimenticio de la grasa suplementaria.

Palabras clave: Digestión, Grasa, Rumiantes, Surfactantes, Tween 80.

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 0.25% 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.

INTRODUCCIÓN

Las grasas y aceites son una fuente alimenticia para rumiantes, de alta densidad energética y de bajo costo. El valor de energía asignado por el NRC (1996) a las grasas alimenticias adicionadas a las dietas de bovinos de engorda es de 6.00 y 4.50 Mcal/kg para mantenimiento y ganancia, respectivamente. Este valor representa un poco más de 2.5 veces el valor energético del maíz.

Las grasas de grado alimenticio contienen aproximadamente 90% de ácidos grasos totales (AFOA, 1999) y estos representan casi el 100% de su contenido energético (Zinn, 1989a). Sin embargo son uno de los insumos con mayor variabilidad en su valor nutricional por lo que muchos estudios se han dirigido a evaluar los diversos factores que lo afectan, cabe mencionar que el valor energético de las grasas está supeditado por la digestibilidad de sus ácidos grasos, la cual se ha determinado que es de un 80% en rumiantes (Palmquist, 1991). Zinn y Plascencia (2004) informaron que la digestibilidad de las grasas era consistente solo cuando no se excedía una proporción de .90 g de grasa/kg de peso vivo. Como resultado de lo anterior los lípidos que llegan a intestino son comprendidos por ácidos grasos altamente saturados los cuales son físicamente menos voluminosos y mas viscosos y esto dificulta la formación micelar y por consecuencia la tasa de absorción (Moore y Christie, 1984).

Esto se agrava cuando existen altos consumos de grasa como resultado de una insuficiente emulsificación dado por una limitada producción biliar, el aumento en la digestibilidad de los AG (ácidos grasos) saturados que ingresan a intestino podría darse solo si se aumenta el potencial de emulsificación a nivel intestinal.

Al respecto, existen estudios en los que se ha probado el uso de emulsificantes naturales (principalmente lecitina) combinados previamente con la grasa alimenticia, sin embargo, no se han obtenido los beneficios esperados en la digestión postruminal de los ácidos grasos (Zinn, 1989; Jenkins y Fotohui, 1990; Plascencia et al., 1991); lo anterior es debido a la alta hidrólisis a nivel ruminal que

sufre la lecitina, lo cual evita que llegue con sus características emulsificantes al intestino (Jenkins, 1990).

El monoleato polioxietileno de sorbitano (Tween 80) es un biosurfactante no iónico el cual es utilizado en la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética y en ingeniería medio ambiental, se caracteriza por ser altamente soluble en agua y en aceites vegetales y poseer acción surfactante con un valor de balance hidrófilo-lipófilo (HBL) de 15, es un compuesto tensioactivo (disminuye la tensión interfacial) altamente estable e inocuo y posee propiedades emulsificantes y solubilizantes tres veces más potente que la lecitina, por ser sintético, no es degradable en rumen y adicionalmente es un agente dispersante (Weems et al., 2004); esto le otorga propiedades ventajosas para facilitar una solubilización y formación micelar que favorezca una mejora en la absorción de los ácidos grasos a nivel intestinal.

Hasta el momento, no existen evidencias, en la información revisada, de estudios realizados en los cuales se evalúe el potencial uso de este compuesto para mejorar la absorción intestinal de los ácidos grasos saturados de cadena larga y el potencial impacto sobre el valor nutrimental de las grasas suplementarias utilizadas en la alimentación de bovinos.

HIPÓTESIS

1: Tween 80 tiene potencial de uso como aditivo alimenticio con la finalidad de aumentar la absorción de AG en dietas de finalización enriquecidas con grasa.

2: El método de adición afecta el nivel de efectividad del surfactante.

OBJETIVO

Evaluar los efectos del método de adición del tween 80 en dietas de finalización enriquecidas con grasa sobre la utilización de nutrientes y el valor energético de la grasa suplementaria.

REVISIÓN DE LITERATURA

Fuentes y Tipos de Grasas

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

En relación a las grasas libres, son diversas las fuentes de grasa que son utilizadas en la alimentación de bovinos de engorda. Estas difieren principalmente en el contenido de impurezas, de ácidos grasos libres (AGL) y en el 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. 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 hidrogenizada 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 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 un máximo de 2% de impurezas.

Sebo: El sebo o grasa animal es un subproducto derivado principalmente de desperdicios de carne y vísceras, mayormente de ganado vacuno. Este tipo de grasa se caracteriza por una mayor uniformidad, además de presentar un alto

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

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

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

^b Son materiales filtrables insolubles en keroseno y compuesto principalmente por partículas de tejido muscular, cuero, hueso y metales. En la actualidad, valores altos de estos compuestos representan un riesgo de la presencia del agente que transmite la encefalopatía esponjiforme 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, 1989; Palmquist, 1991; Wu et al., 1991.

Para extractos de jabón: AFOA, 1988; Bock et al, 1991; Zinn, 1992

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

punto de fusión ($>40^{\circ}\text{C}$) y un menor contenido de humedad e impurezas ($<1.5\%$) así como de AGL comparado con las otras fuentes de grasas (Brandt y Anderson, 1990; Zinn y Plascencia, 2004b).

Grasas mezcladas: Las grasas mezcladas son mezclas con diferentes proporciones de grasas de origen animal, aceites vegetales, así como aceites acidulados y subproductos de refinería. 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. Aún así, comparada con la grasa amarilla, es de apariencia más oscura y con un contenido mayor de AGL y materia insaponificable tendiendo a poseer 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 niveles 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: Los extractos de jabón 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 in inglés), la cual es obtenida en las trampas del desagüe de cocinas de cafeterías y restaurantes. Este 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., 1999).

Valor energético de las grasas alimenticias

El contenido energético asignado a las grasas por el NRC (1996) está basado en: 1) El contenido calórico de EB de la grasa el cual es de 9.4 Mcal/kg, 2) una constante de digestibilidad de 78%, 3) una relación eficiencia parcial de ED a EM de 1:1 y 4) La estimación de los valores de EN a partir de sus correlaciones

derivadas de la eficiencia parcial de conversión de la energía metabolizable a EN para ganancia.

De acuerdo a lo anterior, y considerando que la eficiencia parcial determinada de la EM de los AG para EN para ganancia es de 67% (Garrett, 1980; Zinn, 1994; Czerkowsky et al., 1966); entonces, la EN para ganancia resulta en 4.90 Mcal/kg $[(9.4 * 0.78) * 0.67 = 4.90]$ y dada la relación existente entre la energía neta para mantenimiento y la EN_g , entonces la EN_m resulta en 6.00 Mcal/kg $[(EN_m, \text{Mcal/kg} = EN_g + 0.41/0.877)$ derivado de NRC, 1996]. Lo anterior indica que, excluyendo las interacciones asociativas, el principal factor que afecta el cálculo de EN de las grasas es su digestibilidad y la eficiencia parcial existente entre las energías.

Sin embargo, NRC (1996) aún y cuando asigna un valor de digestibilidad 6.5% mayor para aceite vegetal, la EN asignada es 20% menor (4.75/6.00). El asignar individualmente un valor energético por fuente o tipo de grasa es difícil. Una revisión de estudios de digestibilidad y comportamiento muestra una variación sustancial en los valores estimados de su contenido de energía.

Por otra parte, el principal problema cuando son comparadas distintas fuentes de grasas, es 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 nutricional de las grasas comparadas. De cualquier forma, al comparar distintas fuentes, básicamente se comparan características intrínsecas tales como la aceptabilidad, la cantidad de AGL y la proporción de insaturados:saturados. También deben considerarse factores asociativos como la interacción con ingredientes y otros nutrimentos de la dieta y el tipo de animal en la engorda. 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.

Factores que inciden en la digestibilidad de las grasas en bovinos de engorda

Factores Intrínsecos

Aceptabilidad: Una respuesta al grado de aceptación de las dietas enriquecidas con grasa es el comportamiento de consumo. El efecto de rechazo a dietas suplementadas con grasas no es claro, ya que existen resultados de disminución (Hatch et al., 1972; Zinn, 1994; Zinn y Plascencia, 2004); mejora (Brandt y Anderson 1990; Plascencia et al., 1999), o sin cambios en consumo cuando se adiciona grasa a la dieta (Plascencia et al., 2002; Nelson et al., 2008). Por ejemplo, Zinn (1989) en un mismo experimento al suplementar 4% de grasa amarilla en dietas de finalización informó disminuciones de consumo en novillos Holstein, sin diferencias en consumo para Brahman. Al parecer existe mayor probabilidad de rechazo en dietas altas en humedad suplementada con grasas y esto es atribuido principalmente a cuestiones organolépticas, aunque el principal factor de disminución de consumo se presenta posiblemente, por una menor digestión de la fibra que en general acompaña a la suplementación con grasa provocado una evacuación ruminal más lenta. Por otra parte, la mejora en el consumo indicada en algunos estudios, puede deberse a la disminución de finos en la dieta. De cualquier forma, la adaptación gradual a la grasa puede ser de beneficio al evitar la presentación de estos problemas (Zinn y Plascencia, 2007).

Ácidos grasos libres (AGL): Los ácidos grasos libres son ácidos grasos no esterificados con glicerol. En grasas y aceites la presencia de niveles altos de AGL puede indicar un almacenamiento o 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. El crecimiento en pollos generalmente no es afectado por consumos de dietas con grasa que contengan niveles altos de AGL (Vila y Esteve-García., 1996). Sin embargo, existen indicios en rumiantes en los cuales los AGL pueden ser menos absorbibles que los triglicéridos.

En un estudio conducido por Czerkawski (1973) se observó 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, el 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 (aporta 46% de la EB de los AG), 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. (1999) evaluaron la influencia de distintos niveles de AGL contenidos en la grasa amarilla adicionada a las dietas para bovinos de engorda sobre el comportamiento productivo y digestión de nutrientes. Los niveles probados 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 postruminal de los AG entre los tratamientos, el incremento de contenido de AGL aumentó en forma lineal la ganancia diaria de peso, el consumo y la conversión alimenticia.

Los resultados obtenidos por Plascencia et al. (1999) 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 en el 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 a duodeno de ácidos grasos de mayor digestibilidad (insaturados). Sin embargo, esta teoría no ha sido plenamente confirmada.

Proporción de insaturados:saturados: 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 tanto en sebo (Macleod y Buchanan-Smith, 1972; Elliott et al., 1999) como en grasa amarilla (Jenkins y Jenny, 1989).

Esto no debe ser generalizado entre diferentes fuentes de grasa con grado distinto de saturación. Recientemente ha surgido la controversia acerca del efecto potencial de la proporción de ácidos insaturados:saturados contenidos en las grasas sobre su valor nutricional 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 las celulolíticas. De los ácidos grasos insaturados evaluados, el oleico (C18:1) fue el más inhibidor.

Por ejemplo, Brandt y Anderson (1990) cuando compararon sebo de res y grasa amarilla y observaron respuestas similares y positivas para ambas fuentes de grasa en un primer experimento, mientras que en un segundo experimento, el comportamiento en consumo y ganancia de peso de los novillos que recibieron las dietas que contenían grasa amarilla fueron marcadamente menores que con la 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).

Aún así, 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 (Palmquist, 1991; Bock et al., 1991; Zinn, 1989a,b, 1992; Plascencia y Zinn, 2001; Plascencia et al., 2008).

La atenuación de los efectos de la proporción de insaturados:saturados contenidos en las grasas que comúnmente se adicionan a las dietas para ruminantes se debe principalmente al elevado grado de biohidrogenación que sufren los AG insaturados en su estancia en rumen (Hess et al., 2008).

Los triglicéridos del alimento son hidrolizados en rumen por las lipasas ruminales produciendo AGL y glicerol. El glicerol es metabolizado hasta ácido propiónico y absorbido en rumen. Los ácidos grasos insaturados son sometidos a una extensiva biohidrogenación (un mecanismo para reducir su toxicidad hacia los microorganismos).

Considerando que la lipólisis ruminal de los triglicéridos es intensa (>90% /h; 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 (Wu et al., 1991, Pantoja et al., 1996, Plascencia et al., 1999; 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).

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

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) indicaron 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.

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 a 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 soja (84% insaturados), el consumo de C18:1 aumentó de 38 a 99 g/d, mientras que el flujo a duodeno sólo fue de 19 a 27 g/d (Bock et al., 1991).

Lo anterior demuestra que las diferencias entre las proporciones en los AG existentes entre las distintas fuentes de grasa consumidas disminuyen cuando éstos llegan a intestino, de tal forma que la proporción de insaturados:saturados que contiene el alimento tiene 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 punto 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 nutricional 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 C18:1 en relación a la totalidad de los AG que llegan a intestino, la digestibilidad de C18:0 aumentaba en 1%.

Apoiados 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 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, Corona et al. (2005) 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.

Factores extrínsecos

Nivel de inclusión: Las recomendaciones para el uso de grasas alimenticias para dietas de rumiantes indican que éstas no deben exceder el 5% de la dieta, puesto que se han observado efectos detrimentales sobre el consumo y la eficiencia alimenticia cuando la grasa se incluye en niveles superiores (Zinn, 1994; Plascencia et al., 2003).

Sin embargo, 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 conducido a ganancias y conversiones superiores con relación a animales no suplementados (Zinn, 1989a).

Lo anterior se refleja en una variabilidad del valor nutricional 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 de mantenimiento y EN de ganancia, respectivamente.

Aún así, 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 (2004a) 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 ser 103% para el nivel de inclusión de 3% y descendió 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. La razón para lo anterior se ha atribuido principalmente a variaciones en la digestión intestinal de lípidos (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 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 en bovinos es aproximadamente del 77% (Cuadro 2). 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, se atribuye a 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 por

Cuadro 2. Digestibilidad posruminal de las distintas fuentes de grasa

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

la elevada proporción 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 a su digestibilidad (Steele y Moore, 1968) no parece ser de importancia en rumiantes cuando los consumos de lípidos son moderados (Weisjberg 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 parecen ser afectados aún con altos consumos de grasa (Avila et al., 2000; Enjalbert et al., 2000; Plascencia et al., 2003b).

Lo anterior demuestra, en gran medida, que el principal factor que afecta la digestibilidad de la grasa alimenticia en rumiantes es su nivel de consumo (Khorasani et al., 1992; Zinn, 1992,1994; Pylot et al., 2000).

Por ejemplo, Zinn (1989b) observó una disminución en forma lineal (83, 81 y 74%) de la digestibilidad intestinal de los ácidos grasos cuando se aumentó el nivel de inclusión de grasa amarilla en la dieta de 0 a 8%, calculando una disminución de la digestibilidad de la grasa en 3.4% por cada unidad porcentual por encima de 4% de inclusión.

Similares a lo anterior son 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 un 21% cuando la grasa suplementada fue incrementada en la dieta del 3 al 6% (72 y 59%, respectivamente). Estos datos son muy similares al 75% y 59% de digestibilidad para C18:0 son los obtenidos por Zinn (1992) en dietas con 90% de concentrados suplementados con 0% y 6% de grasa animal.

En un estudio reciente (Plascencia et al., 2003b) en el cual se evaluó el efecto del nivel de consumo de ácidos grasos sobre el valor nutricional de las grasas relacionándolo con su digestión intestinal, se observó una correlación negativa de la cantidad de AG consumidos (g/kg de peso corporal) frente a su digestibilidad intestinal. Combinando los resultados obtenidos en ese estudio con otros 7 estudios previos se generó la ecuación de regresión (Fig 1): $Y = 87.560 - 8.591X$ ($R^2=0.89$, $n=25$), donde Y = digestibilidad intestinal y X = ácidos grasos consumidos por día (g/kg de peso corporal). Esta regresión implica que para no afectar a la digestibilidad intestinal de los AG, el consumo diario de ácidos grasos totales debe ser menor a 0.96 g de AGT/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 están asociados a partículas (Wu et al., 1991; Pantoja et al., 1996; Plascencia et al., 1999). 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 comprobado que la absorción de los AG saturados es más lenta (Doreau y Ferlay, 1994).

La disminución de la digestibilidad de los AG saturados puede explicar de 85 a 100% la variación del valor nutricional observado para las grasas adicionadas a las dietas para los rumiantes (Pantoja et al., 1995; Ramirez y Zinn, 2000; Avila et al., 2000; Enjalbert et al., 2000), y esto puede estar relacionado con una posible

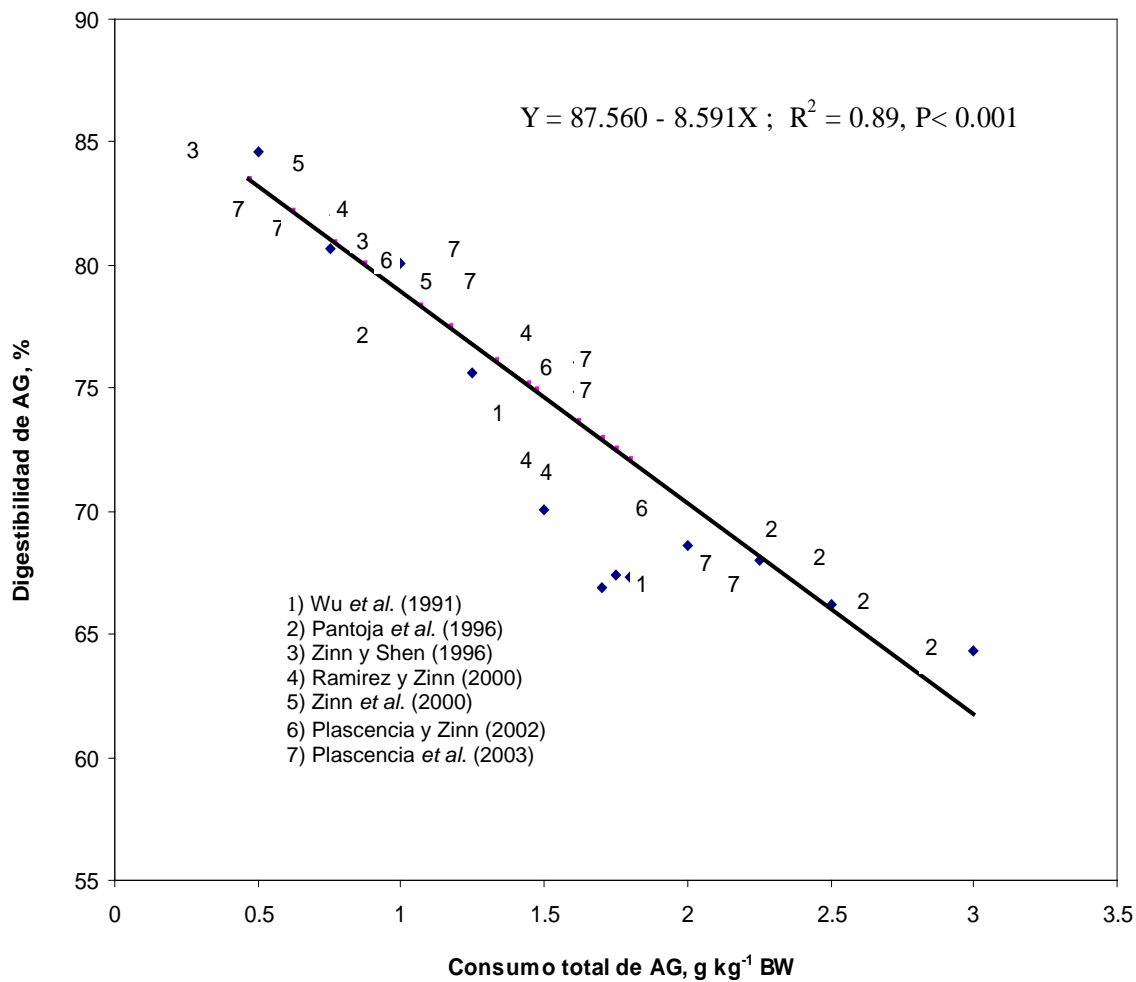


Figura 1. Influencia del nivel de consumo de ácidos grasos sobre su digestión intestinal (Plascencia et al., 2003).

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 estos 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, se ha demostrado en aves deficiencias en la utilización adecuada de las grasas alimenticias por insuficiencia de jugo biliar. Y así, Atteh y Lesson (1985) observaron un incremento del 16% en la digestión intestinal de una mezcla de palmítico:oleíco cuando se añadió 0.2% de ácido cólico a la dieta, que se tradujo en una mejora de un 14% en la energía digestible de la dieta. Sin embargo, en rumiantes, 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 postruminal 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).

Plascencia et al. (2004) relacionaron la producción biliar con la digestión postruminal 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. 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.

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, Republica 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) En un trabajo donde se evaluó el efecto de la temperización 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 en procesos de fermentación in vitro y su interacción con monensina y enzimas fribrolíticas exógenas en dicho trabajo se concluyó 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 en la alimentación de novillos en finalización en dicho trabajo se concluyo que tanto en rendimiento como en digestión 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 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 tener una aplicación potencial como aditivos para piensos en la producción de rumiantes.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la revisión de literatura realizada, la principal problemática en la alimentación de rumiantes cuando se utilizan niveles altos de grasa suplementaria (>5%) es la digestibilidad de sus ácidos grasos (AG). El 90% de la energía de las grasas la aportan los AG; cuando disminuye la digestibilidad de los AG, disminuye el valor energético de las grasas. Debido a la saturación que los AG sufren por la biohidrogenación ruminal llega una mayor cantidad de AG saturados a intestino. Estos son menos digestibles, ya que los AG saturados no pueden ser absorbidos en intestino tan eficientemente como los AG insaturados. Lo anterior se agrava con consumos elevados de grasa ya que la cantidad de AG saturados que llegan a intestino rebasan la capacidad de emulsificación como resultado de una insuficiente producción biliar. En la búsqueda de la solución a este problema se han utilizado emulsificantes naturales como la lecitina, la cual no ha dado los resultados esperados debido a la hidrólisis que ésta sufre en rumen perdiendo sus propiedades solubilizantes y emulsificantes en intestino. Una opción para ello podría ser el uso de un surfactante sintético e inocuo y mas potente que la lecitina y que posea un valor balance hidrófilo:lipófilo por encima de 12 lo que lo caracterizaría como un emulsificante “aceite en agua”. Un surfactante con esas características tendría un uso como aditivo alimenticio en la nutrición de rumiantes.

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.
- 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.
- Brandt Jr, R. T., and S. J. Anderson. 1990. Supplemental fat source affects feedlot performance and carcass traits of finishing yearling steers and estimated diet net energy value. *J. Anim. Sci.* 68:2208-2216.

- Byers, F.M., and G.T. Shelling, 1988. Lipids in ruminant nutrition. Page 298 in *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition*. D.C. Church, ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- 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.
- 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.
- Christie, W.W. 1973. The structures of bile phosphatidylcholines. *Biochim. Biophys. Acta.* 316:204-211.
- 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.
- 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.
- Corona, L., Plascencia, A., R.A. Ware., and R.A. Zinn. 2005. Comparative feeding value of palmitate as a substitute for conventional feed fat in cattle. *J. of Anim. and Vet. Adv.* 4:247-253.
- Czerkowsky, J. W., L. Blaxter, and F. W. Wainman. 1966. The metabolism of oleic, linoleic and linolenic acids by sheep with reference to their effects on methane production. *Br. J. Nutr.* 20:349-361.

Czerkowsky, J.W. 1973. Effect of linseed oil fatty acids and linseed oil rumen fermentation in sheep. *J. Agric. Sci.(Camb.)*81:517-531.

Doreau, M., and A. Ferlay. 1994. Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.*45:379-396.

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. 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.

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.

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 Álvaro, Salager Jean Louis y Scorzza César. 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/>

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.

Hamilton, C.R.2002. Value of animal fats and recycled greases in animal feeds. Darling Intenational Inc.pp.1-17. Irving Tx.

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.

Hatch, C.F., T.W. Perry, M.T. Mohler, and W.M. Beeson. 1972. Effect of added fat with graded levels of calcium and urea-containing rations for beef cattle. J. Anim. Sci. 34:483-487.

Henderson, C. 1973. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. J. Agric. Sci. (Camb.) 81:107-112.

Heredia S, Pablo Cesas. 2000. Surfactantes.

<http://www.monografias.com/trabajos14/tensoactivos/tensoactivos.shtml>

Hess, B.W., G.E. Moss, and, D.C. Rule. 2008. A decade of development in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. J. Anim. Sci. 86: E188-E204.

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.

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 N. Fotehui. 1990.Effects of lecithin and corn oil on site of digestion, ruminal fermentation and microbial protein synthesis. J. Anim. Sci.68:460-466.

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.

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.
- Moore, J. H., and W.W. Christie. 1984. Digestion, absorption and transport of animal fats in ruminant animal. Page123 in *Fats in Animal Nutrition*. J. Wiseman, ed. Butterworths, London, Engl.
- Muller Franz. 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.
- 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.
- 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.
- 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., Alvarez, E.G. Dávila-Ramos, H. Montaña, M.F. Valdéz, Y.S. and R.A. Zinn 2008. Influence of fat titer and method of addition on characteristics of ruminal and total tract digestion. *J. of Anim. and Vet. Adv.* 3:145-148.
- 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, 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* 2007.85:2575-2581.

Plascencia, A., A. Barreras and 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., 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., 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., 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., 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., Mendoza, G., Vazquez, C. 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.

- 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.
- Sherman Alan y Sherman Sharon J. 1989. *Chemistry and Our Changing 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.
- Umbland Jean B. Y Bellama Jon M. 2000. *Química General 3ra. Edición.* Ed. Thomson Learning. pp. 512,513.
- Valenzuela, A.B. 1995. Natural antioxidants: A new perspective for the problems or oxidative rancidity of lipids in biotechnology in the feed industry. Lyons T.P. & K.A. Jacques (Ed). *Proc.of Eleven Symp. London, Eng.*
- Van Nevel, C.J., and D.I. Demeyer. 1996. Influences of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents in vitro. *Reprod. Nutr. Dev.* 36:53-63.
- Vila, B., and E.Esteve-Garcia.1996. Studies on acid oils and fatty acids for chickens. II. Effect of free fatty acid content and degree of saturation of free fatty acids and neutral fat on fatty acid digestibility. *Br.Poultry Sci.*37:119-130.
- Wachira, A. M., L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson, K. Hallett, M. Enser, and J. D. Wood. 2000. Rumen biohydrogenation of n-3 polyunsaturated fatty acids and their effects on microbial efficiency and nutrient digestibility in sheep. *J. Agric. Sci.* 135:419–428.

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.

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.

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

Wu, Z., O. A. Ohajuruka, and D. L. Palmquist. 1991. Ruminal synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3025-3034.

Xu, C., 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.

Zinn, R. A. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *J. Anim.Sci.* 66:213-227.

Zinn, R. A. 1989a. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: Feedlot cattle growth performance *J. Anim. Sci.* 67:1029-1037.

- Zinn, R. A. 1989b. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: Metabolism. *J. Anim. Sci.* 67:1038-1049.
- Zinn, R. A. 1992. Comparative feeding value of supplemental fat in steam-flaked corn- and steam-flaked wheat- based finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 70:2959-2969.
- Zinn, R. A. 1994. Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth performance and digestive function. *Prof. Anim. Sci.* 10:66-72.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 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., and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71:11-17.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 2007. Feed Value of supplemental fats used in Feedlot cattle. 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.
- 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., and A. Plascencia. 2004b. Future of tallow as an ingredient in livestock diets. 24th Western Nutrition Conference Saskatoon, Saskatchewan, Can. 21-27 pp.
- Zinn, R.A., and A. Plascencia. 2004a. 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., 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., 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.

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

2

3

4

5

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

8

9

10

11 **H. Dávila-Ramos^{1*}, A. González-Castellón^{1*}, A. Barreras-Serrano¹, A. Estrada-**
12 **Angulo², M.A. López-Soto¹, J.V. Macías-Zamora¹, A. Plascencia¹, S. H. Vega^{1*}, R.A.**
13 **Zinn³**

14

15

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

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

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

20

21

22

23 *Artículo enviado al Indian Journal of Animal Science. Ref. # 2010-2025*

24

25

¹ Corresponding author: Alejandro Plascencia. e-mail: aplas_99@yahoo.com

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

Abstract

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

20
21
22 Key words: Digestion, fat, ruminants, surfactants, Tween 80.
23
24

Introduction

1
2
3 Current standards (NRC, 1996) for the NE_m and NE_g values of supplemental fats
4 are 6.00 and 4.50 Mcal/kg. Estimates based on these values are consistent with empirically
5 derived measures when total fatty acid intake did not exceed 0.86 g/kg of BW (Plascencia
6 *et al.* 2003). When fatty acid intake exceeds 0.86 g/kg of BW, the NE value of fat declines
7 (Zinn and Plascencia 2007). This decline is attributable to decreased postruminal fatty acid
8 digestion of saturated fatty acids (mainly stearic and palmitic acids; Zinn, 1994; Plascencia
9 *et al.* 2003). Plascencia *et al.* (2004) observed that with increasing level of fat
10 supplementation, the bile:lipid ratio or emulsification capacity of intestinal chyme
11 decreases. Supplementation with soy lecithin (a natural emulsifier) in low (~3.7% of FA;
12 Jenkins and Fotouhi 1990) and high (~8%; Zinn 1989) fat supplemented diets has likewise
13 failed to enhance FA digestion. However, lecithin undergoes extensive ruminal degradation
14 (Jenkins and Fotouhi 1990). Furthermore, Enjalbert *et al.* (2000) observed that pre-
15 emulsification of fatty acids with 0.025% before direct duodenal infusion did not improve
16 intestinal fatty acid digestion.

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

1 TW method addition in fat-supplemented high-energy diets on digestion and feed value of
2 supplemental fat in cannulated Holstein steers.

3 *Materials and Methods*

4 Four Holstein steers (271 ± 11 kg) with cannulas in the rumen and proximal
5 duodenum were used to study the influence the influence of method of surfactant (Tween
6 80) supplementation on characteristics of digestion and feeding value of supplemental fat.
7 Treatments consisted of a steam-flaked corn-based finishing diet supplemented with: 1) no
8 supplemental fat, no surfactant; 2) 6% supplemental fat (yellow grease, no surfactant; 3)
9 5.75% supplemental fat plus 0.25% Tween 80 (**TW**; IFN 8-08-031) added to the diet as
10 part of the premix (TW was mixed with premix before incorporation with grain in the
11 mixer (Leon Weill mixer, model 30910-7, Coyoacán, Mexico), as second step in diet
12 preparation), and 4) 5.75% supplemental fat plus 0.25% TW combined directly with the
13 supplemental fat (TW was mixed with supplemental fat before incorporation into the feed
14 mix as penultimate step in diet preparation). The basal diet contained (DM basis, g/kg):
15 Steam-flaked corn, 779; alfalfa hay, 80; sudangrass hay, 40; cane molasses, 70; urea, 11;
16 limestone 11; trace mineral salt, 5 and 4 g of chromic oxide as digesta marker. Dry matter
17 intake was restricted to 2% of BW. Composition of supplemental yellow grease was similar
18 to that used in previous studies (Plascencia *et al.* 2003; 2004). Facilities and protocols for
19 steers feeding, sampling procedures, laboratory analyses and calculations were identically for
20 those that were described previously by Plascencia *et al.* (2008). The trial data were analyzed
21 using GML procedures (SAS Inst. Inc., Cary, NC) based in a model for 4x4 Latin square
22 experimental design. Treatments effects were tested using orthogonal contrast as follows 1) T1

1 vs. T2, T3 and T4; T2 vs. T3 and T4 and T3 vs. T4. Treatment differences were considered to be significant when $P \leq 0.05$.

3 ***Result and Discussions***

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

8 Apart from its use as a dispersant in milk replacers (Jenkins and Emmons, 1984), no
9 research has been reported that evaluates the use of TW for enhancement of digestive
10 processes in cattle. Addition of surfactant TW enhanced *in vitro* digestion of fiber and
11 protein (Kamande *et al.*, 2000; Goto *et al.*, 2003; Cong *et al.*, 2009). *In vivo*, however,
12 results have not been consistent. Digestion of orchardgrass fed to non-lactating cows was
13 not improved by supplementation with 0.20% TW (Baah *et al.*, 2005). Likewise, addition
14 of 0.02% TW to either high forage or concentrate diets did not improve nutrient digestion
15 in lambs (McAllister *et al.*, 2000) or feedlot steers (Plascencia *et al.*, 2007). Cong *et al.*
16 (2009) speculated that inconsistencies in responses might be due to differing dosage levels;
17 however, Kim *et al.* (2004) observed improved digestion of DM and fiber in steers fed a
18 growing diet containing 40% of rice straw supplementation and supplemented with 10 g/d
19 TW; approximately 60% of dosage used in the present study.

20 Fat supplementation decreased ($P < 0.05$) ruminal and total tract digestion of OM
21 (5.8 and 3.1%) and ADF (36.2 and 25.6%), and increased ($P < 0.01$, 4.5%) the DE value of
22 diet. Decreased on ruminal OM digestion has been a consistent response to higher levels of

1 fat supplementation (Zinn, 1994; Zinn and Shen, 1996). This effect is due to decreased
2 ruminal fiber digestion, and the ruminal “indigestibility” of fat itself (Zinn *et al.*, 2000,
3 Plascencia *et al.*, 2003).

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

$$6 \text{ Fat DE, Mcal/kg} = (\text{ED supplemented diet} - \text{ED unsupplemented diet} / 0.060) + 4.1$$

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

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

1 (2005) determined *in vitro* that TW, depending on amphipath (amphiphile) concentrations,
2 requires considerable time (up to several hours) to disintegrated lipid membranes.

3 Consisted with previous reports (Plascencia *et al.*, 2003; Kucuk *et al.*, 2004),
4 supplemental fat decreased postruminal FA digestion, mainly due to decrease digestion of
5 C18:0. Across of fat-supplemental diets, the decline in postruminal digestion was 6.9-fold
6 greater for C18:0 than for C16:0; consistent with the concept that intestinal digestion of
7 saturated fatty acids decreases with increasing chain length (Zinn, 1989). Furthermore,
8 whereas C18:0 comprised only 10.8% of fatty acid intake, it comprised 63.3% of total fatty
9 acid flow to the small intestine. Hence, decreased digestion of C18:0 explains most of the
10 depression in total intestinal FA digestion due to fat supplementation (Zinn and Plascencia,
11 2007).

12 Across fat supplemented diets treatments, post-ruminal FA digestion averaged
13 76.8%, slightly (4%) greater than predicted (73.8%) based on level of fat intake (FA
14 digestion, % = $87.56 - 8.591FAI$; Plascencia *et al.*, 2003). Given that one gram of
15 intestinally digestible fat (**IDF**) has a ME value of 9 Kcal (100% of its physiological fuel
16 value); and the partial efficiency of utilization of ME from dietary fat for BW gain is 67%
17 (Czerkawsky *et al.*, 1966; Garrett, 1980; Zinn, 1994), the NE_g value of dietary fat was 6.03
18 Kcal/g IDF. Applying the observed digestibility value (76.8), the NE_g values for the yellow
19 grease used in this study is 4.63. Corresponding NE_m values are 5.74 Mcal/kg [where NE_m
20 = $(NE_g + 0.41)/0.877$; derived from NRC, 1984], this energy value represent 95% of the
21 tabular value of NRC (1996).

1 It is concluded, that independently of method of addition, supplementation of a
2 high-fat finishing diet with 0.25% Tween 80 does not enhance diet digestion or the feeding
3 value of supplemental fat.

4 *Acknowledgement*

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

8 *References*

- 9
- 10 Baah, J., Shelford, J.A., Hristov, A.N., McAllister, T.A. and Cheng, K. J. 2005. Effects of
11 Tween 80 and fibrolytic enzymes on ruminal fermentation and digestibility of feeds
12 in Holstein cows. *Asian-australas. J. Anim. Sci.*, 18:816–824.
- 13
- 14 Bendikiene, V., Surinenaite, B., Bachmatova, I., Marcinekeviciene, L. and Juodka, B. 2008.
15 Tweens and ionic detergents in the hydrolytic activity of *Pseudomonas mendocina*
16 3121-1 lipase. *Biologija.*, 54:242-246.
- 17
- 18 Cong, Z.H., Tang, S. X., Tan, Z. L., Sun, Z. H., Zhou, C.S., Han, X.F., Wang, M. and Ren,
19 G. P. 2009. Effects of different nonionic surfactants on *in vitro* fermentation
20 characteristics of cereal straws. *J. Anim. Sci.*, 87-1085-1096.
- 21
- 22 Czerkawsky, J. W., Blaxter, L. and Wainman F. W. 1966. The metabolism of oleic, linoleic
23 and linolenic acids by sheep with reference to their effects on methane production.
24 *Br. J. Nutr.*, 20:349-361.
- 25
- 26 Enjalbert, F., Nicot, M. C., Bayourthe, C. and Moncoulon, R. 2000. Effects of duodenal
27 infusions of palmitic, stearic, or oleic acids on milk composition and physical
28 properties of butter. *J. Anim. Sci.*, 83:1428-1433.

- 1 Garret, W. N. 1980. Energy utilization of growing cattle as determined in seventy-two
2 comparative slaughter experiments. In: *Energy Metabolism*. Butterworths, London.
3 Pp3 -7.
- 4
- 5 Goto, M., Bae, H., Lee, S. S., Yahaya, M. S., Karita, S., Wanjae, K. and Cheng, K. J. 2003.
6 Effects of surfactant Tween80 on forage degradability and microbial growth on the
7 in vitro rumen mixed and pure cultures. *Asian-australas. J. Anim. Sci.*, 16:672–676.
- 8
- 9 Jenkins, K.J. and Emmons, D.B. 1984. Tolerance of calves to fat peroxides in milk replacer.
10 *J. Dairy Sci.*, 67:592-597.
- 11
- 12 Jenkins, T. C. and Fotouhi, N. 1990. Effects of lecithin and corn oil on site of digestion,
13 ruminal fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Anim. Sci.*,
14 68:460-466.
- 15
- 16 Jia, J. and Burgess, D. J. 2003. Rheology and stability of water-in-oil-in-water multiple
17 emulsions containing Span 83 and Tween 80. *AAPS PharmSci.*, 5 (1) Article 7
18 (<http://www.pharmsci.org>). accessed June 22, 2010.
- 19
- 20 Kamande, G. M., Baah, J., Shelford, J. A., Cheng, K. J. and McAllister, T. A. 2000. Effects
21 of Tween 60 and Tween 80 on protease activity, thiol group reactivity, protein
22 absorption, and cellulose degradation by rumen microbial enzymes. *J. Dairy Sci.*,
23 83:536–542
- 24
- 25 Kan, P. K., Chen Z. B., Kung, R. Y., Lee, C. J. and Chu, I. M. 1999. Study on the
26 formulation of o/w emulsion as carriers for lipophilic drugs. *Colloids and Surfaces*
27 *B: Biointerfaces.*, 15:117-125.
- 28
- 29 Kim, C. H., Kim, J. N., Ha, J. K., Yun, S. G. and Lee, S. S. 2004. Effects of dietary
30 addition of surfactant Tween 80 on ruminal fermentation and nutrient digestibility
31 of Hanwoo steers. *Asian-australas. J. Anim. Sci.*, 17:337–342.
- 32

- 1 Kucuk, O., Hess, B.W. and Rule, D. C. 2004. Soybean oil supplementation of a high-
2 concentrate diet does not affect site and extent of organic matter, starch, neutral
3 detergent fiber, or nitrogen digestion, but influences both ruminal metabolism and
4 intestinal flow of fatty acids in limit-fed lambs. *J. Anim. Sci.*, 82:2895-2994.
- 5
- 6 McAllister, T. A., Stanford, K., Bae, H. K., Treacher, R. J., Hristov, A.M., Baah, J.,
7 Shelford, J. A. and Cheng, K. J. 2000. Effect of a surfactant and exogenous
8 enzymes on digestibility of feed and on growth performance and carcass traits of
9 lambs. *Can. J. Anim. Sci.*, 80:35–44.
- 10
- 11 McClements, D.V. 2004. Food Emulsions. In: *Principles, Practices and Techniques* (2nd
12 ed.) CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Pp 9-174.
- 13
- 14 NRC. 1984. *Nutrient Requirement of Beef Cattle*. (6th Rev. Ed.). National Academy Press,
15 Washington, DC.
- 16
- 17 NRC. 1996. *Nutrient Requirement of Beef Cattle*. (7th Rev. Ed.). National Academy Press,
18 Washington, DC.
- 19
- 20 Plascencia, A., Alvarez, E. G., Dávila-Ramos, H., Montañó, M. F., Valdéz, Y. S. and Zinn,
21 R. A. 2008. Influence of fat titer and method of addition on characteristics of
22 ruminal and total tract digestion *J. Anim. Vet. Adv.*, 7:145-148.
- 23
- 24 Plascencia, A., Lopez-Soto, M. A., Montañó, M. F., Serrano, J., Ware, R. A. and Zinn, R.
25 A. 2007. Influence of surfactant supplementation and maceration on the feeding
26 value of rice straw in growing-finishing diets for Holstein steers. *J. Anim. Sci.*,
27 85:2575-2581.
- 28
- 29 Plascencia, A., Mendoza, G., Vazquez, C. and Zinn, R. A. 2003. Relationship between
30 body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot
31 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.

1

2 Zinn, R. A. 1989. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding
3 value in finishing diets for steers: *Metabolism. J. Anim. Sci.*, 67:1038-1049.

4

5 Zinn, R. A. 1994. Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth
6 performance and digestive function. *Prof. Anim. Sci.*, 10:66-72.

7

8 Zinn, R. A. Gulati, S. K , Plascencia, A. and Salinas, J. 2000. Influence of ruminal
9 biohydrogenation on the feeding value of fat in finishing diets for feedlot cattle. *J.*
10 *Anim. Sci.*, 78:1738-1746.

11

12 Zinn, R. A. and Plascencia A. 2007. Feed Value of supplemental fats used in Feedlot cattle.
13 In: *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. L.C. Hollis and
14 K.C. Olson (eds). W.B Saunders Co. Philadelphia, PA. USA. Pp.247-268.

15

16 Zinn, R. A. and Shen, Y. 1996. Interaction of dietary calcium and supplemental fat on
17 digestive function and growth performance in feedlot steers. *J. Anim. Sci.*, 74:2303-
18 2309.

19

20

21

22

23

24

25

26

1 Table 1
 2 Influence of surfactant Tween 80 method addition in fat-supplemented diet on
 3 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

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

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

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

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

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

1
2
3
4

Table 2

Influence of surfactant Tween 80 method addition in fatsupplemented diet on fatty acid 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>					
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

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

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

6

7

8