



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN LA CANAL DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON ACEITES PROTEGIDOS

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

GEMMA RAZO HERRERA

Bajo la supervisión de: **CARLOS SÁNCHEZ DEL REAL, M.C.**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES



Junio 2014

Chapingo, Estado de México

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y PERFIL DE ÁCIDOS
GRASOS EN LA CANAL DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON
ACEITES PROTEGIDOS**

Tesis realizada por **GEMMA RAZO HERRERA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



M.C. CARLOS SÁNCHEZ DEL REAL

ASESOR:



DR. LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO

ASESOR:



DR. JOSÉ ARTEMIO CADENA MENESES

CONTENIDO

	Página
CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIAS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS.....	x
RESUMEN GENERAL.....	xi
GENERAL ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 General	2
2.2 Particulares	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1 Sistemas de producción ovina en México	3
3.2 Uso de lípidos en nutrición animal	3
3.2.1 Efectos de suplementar grasa en la digestibilidad de los alimentos	3
3.2.2 Digestión de lípidos en rumiantes	4
3.2.3 Biohidrogenación.....	5
3.2.4 Productos finales de la biohidrogenación.....	6
3.2.5 Protección de aceites a la acción microbiana ruminal.....	6
3.2.6 Absorción de lípidos en rumiantes	7
3.2.7 Transporte y almacenamiento de lípidos.....	8
3.2.8 Degradación y síntesis de grasas	10
3.2.9 Lipólisis de las grasas	11

3.3	Influencia del uso de aceites sobre los parámetros productivos de ovinos en engorda.....	11
3.3.1	Importancia y composición del aceite de atún y linaza.....	11
3.3.2	Origen de ácidos grasos en las raciones	12
3.3.3	Cambios en el comportamiento productivo al incluir aceite en las raciones	13
3.3.4	Modificaciones en la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia.....	14
3.4	Ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6 en la salud humana y calidad de productos de rumiantes para consumo humano.....	14
3.4.1	Factores que afectan la calidad y cantidad de grasa en productos de origen animal	16
3.4.2	Efecto de la utilización de aceite de atún y linaza en producción de carne	17
3.4.3	Perfil de ácidos grasos en carne de ovinos.....	19
4.	LITERATURA CITADA	21
5.	ACEITE DE ATÚN Y DE LINAZA PROTEGIDOS EN LA FERMENTACIÓN <i>IN VITRO</i> DE DIETAS PARA CORDEROS.....	27
5.1	Resumen.....	27
5.2	Abstract.....	28
5.3	Introducción	29
5.4	Materiales y métodos.....	29
5.5	Resultados y discusión	32
5.6	Conclusiones	38
5.7	Agradecimientos	39
5.8	Literatura citada	39
6.	COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON ACEITES PROTEGIDOS.....	43

6.1	Resumen.....	43
6.2	Abstract.....	44
6.3	Introducción	45
6.4	Materiales y métodos.....	45
6.5	Resultados y discusión	48
6.6	Conclusiones	50
6.7	Literatura citada	50
7.	ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE OVINOS ALIMENTADOS CON DIETAS SUPLEMENTADAS CON ACEITE PROTEGIDO.....	52
7.1	Resumen.....	52
7.2	Abstract.....	53
7.3	Introducción	54
7.4	Materiales y métodos.....	54
7.5	Resultados y discusión	56
7.6	Conclusiones	60
7.7	Literatura citada	61

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Contenido típico de ácidos grasos en diferentes alimentos (g/100 g de AG totales).....	13
Cuadro 2. Principales ácidos grasos en productos de origen animal.	20
Cuadro 3. Ingredientes de dietas para corderos adicionadas con 0, 1, 2 y 3% de aceite de atún o aceite de linaza.....	30
Cuadro 4. Contrastes analizados para determinar el efecto del tipo, nivel y técnica de protección de aceites en la fermentación de dietas para corderos.	31
Cuadro 5. Comportamiento de la fermentación y digestibilidad <i>in vitro</i> de aceites de atún y de linaza a tres niveles de inclusión con cuatro métodos de protección.	33
Cuadro 6. Comportamiento de la acumulación de gas a distintos tiempos en la fermentación <i>in vitro</i> de aceite de atún y de linaza a tres niveles de inclusión con cuatro métodos de protección.	36
Cuadro 7. Composición de dietas experimentales.	47
Cuadro 8. Efecto en el comportamiento productivo ^z al incluir dos tipos de aceite y tres niveles en dietas para ovinos de lana.	49
Cuadro 9. Efecto en el rendimiento comercial de la canal y grasa dorsal ^z al utilizar dos tipos de aceites con tres niveles de inclusión en dietas para engorda de ovinos de lana.....	49
Cuadro 10. Ingrediente y su proporción usada en la formulación de las dietas experimentales.....	55
Cuadro 11. Efecto del tipo y nivel de aceite ^z en la dieta de cordero en el contenido de ácidos grasos de la carne, %.	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Producción de gas <i>in vitro</i> de 0 a 8 h ($V_{f_{0-8}}$), 8 a 26 ($V_{f_{8-26}}$) y 26 a 68 ($V_{f_{26-68}}$) horas de incubación, por la fermentación de dietas para corderos suplementadas con dos tipos de aceite y dos métodos de protección. (-O-) 3% de aceite de atún y linaza (Δ), 1% de aceite de linaza (\diamond) saponificados con NaOH, y sin aceite (\square).....	35
Figura 2. Producción de gas de fermentación <i>in vitro</i> de dietas para corderos, con 3% de aceite de atún o linaza, sin protección (SP) o protegido con alginato, NaOH (Na), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Ca) o sin aceite (Testigo).....	37

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico que me otorgó para realizar mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia y al Posgrado en Producción Animal por permitir el desarrollo profesional de mí persona.

Al M.C. Carlos Sánchez del Real, Dr. Luis Alberto Miranda Romero y al Dr. José Artemio Cadena Meneses por su valiosa dirección en ésta investigación.

DEDICATORIAS

A mis padres María Asunción Herrera Macías y José Soledad Razo Morales

A mis hermanos Héctor, Maribel, Mario y Evelia

Por el apoyo y amor que me han brindado en todo momento

A mi luz y vida Daniel Emmanuel Galadizo Razo, **“te amo hijo”**

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos generales

Nombre: Gemma Razo Herrera
Fecha de nacimiento: 11 de abril de 1986
Lugar de nacimiento: Tlaxcala
CURP: RAHG860411MTLZRM01
Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula profesional: 7660577

Desarrollo académico

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.
Maestría: Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.

RESUMEN GENERAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN LA CANAL DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON ACEITES PROTEGIDOS

Se investigó el efecto del nivel, tipo de aceite y técnica de protección a la biohidrogenación ruminal, en la fermentación y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (FDI), comportamiento productivo (CP) y concentración de ácidos grasos en la canal de ovinos (AGC). En la prueba FDI se adicionó a la dieta testigo aceite de atún (A) o de linaza (L) a tres niveles 1, 2 y 3%, protegidos con alginato, Ca(OH)_2 , NaOH o sin protección. Se midió: volumen máximo (V_m ; mL g^{-1}), tasa de fermentación (S ; h^{-1}), fase de retardo (L ; h), y digestibilidad de la materia seca a 92 horas (DIVMS). Volumen máximo, S , L y DIVMS fueron afectadas ($P < 0.05$) al proteger con alginato y NaOH. En CP y AGC, se evaluaron los mismos tratamientos que en FDI protegidos sólo con Ca(OH)_2 , más una dieta sin aceite (T). En CP y AGC, se evaluó ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), peso final (PF), y grasa dorsal (GD). La mayor GDP y la mejor CA ($P < 0.05$) la presentó A al 2% (370 g y 4.27 kg de alimento kg de ganancia de peso⁻¹, respectivamente) en comparación con L al 2%. El PF fue de 49 kg para A al 2% mayor que A al 1% con 42 kg ($P < 0.05$). La GD fue menor ($P < 0.05$) en A y L al 2% (1.7 y 1.8 mm) vs A al 3% (3.1 mm). En AGC se determinó grasa, ácidos grasos saturados e insaturados y la relación n-6/n-3 en músculo *longissimus dorsi*, pierna y espaldilla mediante cromatografía de gases. El menor contenido de grasa ($P < 0.05$) fue para pierna (10.51%) en comparación con espaldilla (13.47%) y el músculo *longissimus dorsi* (14.21%). En cuanto a la relación de n-6/n-3 en el músculo *longissimus dorsi*, fue mejor ($P < 0.05$) para las dietas que contenían L y A al 3% (0.68 y 0.78) respecto A al 1% (5.69). La inclusión de 2 y 3% de aceite de atún a dietas para engorda de ovinos, mejoró la GDP, CA y la relación de ácidos grasos n-6/n-3.

Palabras clave: atún, linaza, ácidos grasos protegidos, fermentación, n-6/n-3.

GENERAL ABSTRACT

PRODUCTIVE PERFORMANCE AND FATTY ACIDS PROFILE IN CARCASSES OF SHEEP SUPPLEMENTED WITH PROTECTED OILS

The effect of oil level, type and protection technique on ruminal biohydrogenation, in fermentation and dry matter digestibility *in vitro* (FID), productive performance (PB) and concentration of fatty acids in carcasses (CFA) of sheep were investigated. In the FID test the control diet was supplemented with tuna or linseed oil at three levels (1, 2 and 3%), protected with alginate, or saponified with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH or unprotected. The variables were the maximum volume (V_m ; mL g^{-1}), fermentation rate (S ; h^{-1}), lag phase (L ; h) and digestibility of dry matter at 92 hours (DIVMS). The maximum volume, S , L and DIVMS were affected by protecting alginate and NaOH. In the case of PB and CFA, the same treatments as in FID protected only with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ plus a diet without oil (T) were tested. Regarding to PB, daily weight gain (DWG), feed conversion (FC), final weight (FW) and dorsal fat (DF) were evaluated. Higher DWG and better CA ($P < 0.05$) were found with A at 2% (370 g and 4.27 kg, respectively) compared to L at 2%. The FW was 49 kg for A with 2% being higher ($P < 0.05$) than A with 1% with 42 kg. The DF was less ($P < 0.05$) in A and L at 2% (1.7 y 1.8 mm) vs A at 3% (3.1 mm). In relation to CFA, fat, saturated and unsaturated fatty acids and the n-6/n-3 ratio were determined in the *longissimus dorsi* muscle, leg and shoulder blade by gas chromatography. The fat content was lower ($P < 0.05$) for leg (10.51%) compared to shoulder blade (13.47%) and the *longissimus dorsi* muscle (14.21%). Regarding to the n-6/n-3 ratio in the *longissimus dorsi* muscle, it was better ($P < 0.05$) for diets containing L and A at 3% (0.68 and 0.78) compared to A at 1% (5.69). The inclusion of 2 and 3% of tuna oil to diets for fattening sheep, improved GDP, CA and the n-6/n-3 fatty acids relationship.

Key words: tuna, linseed, fatty acids protected, fermentation, n-6/n-3.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La carne de ovino en México generalmente se consume en barbacoa, birria, mixiotes y cortes finos. Los consumidores han identificado que la grasa presente en estos productos es perjudicial para la salud por su alto contenido de ácidos grasos saturados. McGuire y McGuire (2000) y Turpein *et al.* (2006), comentan que el manejo estratégico de la alimentación del ovino, aumenta el contenido de ácidos grasos insaturados en los productos, lo cual es benéfico para la salud del consumidor. Pariza (2001), informa que el consumo de ácidos grasos insaturados reduce la acumulación de grasa corporal en humanos.

Pariza *et al.* (2001) y Belury (2002) indican que aceites de soya, pescado, algas y linaza son fuentes naturales de ácidos grasos insaturados y también se ha demostrado su efecto antiaterogénico y antitrombótico, de igual forma en la reducción del crecimiento de tumores cancerígenos de distintos tipos en estómago, próstata, colon y mama.

Es necesario realizar estudios para promover cambios benéficos en el perfil de ácidos grasos que contiene la grasa de los productos cárnicos y proporcionar a la sociedad productos que beneficien la salud humana mediante su consumo. Con el fin de obtener concentraciones altas de ácidos grasos insaturados en la carne de ovino, se plantea evaluar el efecto de la adición de aceite de atún y linaza protegidos en la dieta como fuente rica de ácidos grasos insaturados, en el comportamiento productivo y concentración de ácidos grasos en la canal de ovinos.

2. OBJETIVOS

2.1 General

- Evaluar la biohidrogenación ruminal, comportamiento productivo y perfil de ácidos grasos en la canal de ovinos al adicionar a la alimentación aceite de atún y linaza protegidos a la fermentación ruminal.

2.2 Particulares

- Determinar el efecto del aceite de atún y linaza protegidos mediante tres métodos en la fermentación y degradación *in vitro* de dietas para la engorda de corderos.
- Evaluar el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia de corderos alimentados con dietas suplementadas con aceite de atún y linaza.
- Evaluar la grasa dorsal y rendimiento de la canal de corderos alimentados con dietas suplementadas con aceite de atún y linaza.
- Evaluar la concentración de ácidos grasos saturados e insaturados en la canal de ovinos alimentados con dietas suplementadas con aceite de atún y linaza.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Sistemas de producción ovina en México

En México existe un inventario de 8 405 902 cabezas de ovinos (SIAP, 2012) registradas en alrededor de 53 000 unidades de producción ovina, éstas están distribuidas aproximadamente de la siguiente forma: 53% en la zona Centro, 24% en el Sur Sureste y 23% en el Norte del país (Partida *et al.*, 2013).

Las unidades de producción se desarrollan en diferentes sistemas de producción; en pastoreo, en estabulación o en la combinación de estas dos modalidades. De acuerdo con la intensidad de su régimen de producción se dividen en: intensivo, semi-intensivo y extensivo, y según su propósito fundamental se dividen en comerciales y de autoconsumo. A su vez, los sistemas comerciales pueden ser intensivos, semi-intensivos o extensivos, y por lo general, los de autoconsumo son de traspatio y, en algunos casos muy limitados de trashumancia (Partida *et al.*, 2013).

A pesar de que México ha ido avanzando en mejorar su productividad, sólo genera el 70% de la carne ovina que consume, por lo que tiene un mercado de crecimiento interno potencial de unas 30,000 toneladas anuales. El consumo *per cápita* de carne para 2012 fue de 800 g (SIAP, 2012).

3.2 Uso de lípidos en nutrición animal

3.2.1 Efectos de suplementar grasa en la digestibilidad de los alimentos

Las grasas pueden ejercer impactos positivos sobre la función del rumen al permitir reducir la inclusión de carbohidratos fácilmente disponibles en raciones alimenticias, estimular la utilización de la fibra y mediante la biohidrogenación pueden mejorar la recuperación de la energía. Se aconseja limitar las grasas a menos del 5% de la ración total en un intento de prevenir problemas de fermentación en el rumen (Church, 1988).

Regularmente, con dietas ricas en ácidos grasos insaturados es probable una depresión de la digestibilidad de la materia seca (DMI) porque existe una toxicidad de éstos para los microorganismos ruminales inhibiendo la digestión de la fibra mediante varios mecanismos, entre ellos el recubrimiento físico de la fibra con grasa, efectos tóxicos que modifican a ciertos microorganismos, efectos tenso activos sobre las membranas microbianas y descenso de la disponibilidad de cationes mediante la formación de jabones. Una reducción de cationes disponibles puede influir también sobre el pH, así como eliminar cationes necesarios para los microorganismos (Bremmer *et al.*, 1998).

El grado de insaturación y la esterificación adquieren importancia crítica al determinar la cuantía del impacto de la grasa en la digestión de la fibra. Las grasas poliinsaturadas son más tóxicas para los microorganismos del rumen que las grasas saturadas porque influyen negativamente en la función de la membrana plasmática de las bacterias (Jenkins, 1993). La esterificación también ejerce cierta influencia negativa y, aunque la actividad lipolítica de los microbios es elevada, la grasa añadida en forma esterificada en lugar de ácidos grasos libres, especialmente con niveles de 5% o superiores, ejerce un efecto perjudicial sobre la digestión de la fibra (Church, 1988).

3.2.2 Digestión de lípidos en rumiantes

Los microorganismos del rumen modifican los lípidos de varias formas. Los ácidos grasos aparecen típicamente en forma esterificada y los microorganismos del rumen los hidrolizan rápida y ampliamente hasta ácidos grasos libres y glicerina u otros compuestos, dependiendo de la naturaleza del lípido consumido (Johnson y McClure, 1972); por ejemplo, los aceites vegetales como el aceite de linaza son hidrolizados típicamente sobre el 90% mientras que los aceites de pescado experimentan una hidrolisis menor al 50% (Church, 1988). Como los ácidos grasos deben hallarse en forma libre para que prosiga el metabolismo microbiano, los límites en la hidrolisis limitan también las modificaciones de los lípidos en el rumen.

Se han identificado un número de factores que afectan a la velocidad y extensión de la hidrólisis, ésta se reduce a medida que aumenta el nivel de grasa en la dieta o cuando factores tales como bajo pH o presencia de ionóforos en rumen inhiben la actividad y el crecimiento de las bacterias (Doreau y Chilliard, 1997).

En los alimentos consumidos por los rumiantes, hay gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados de 18 átomos de carbono (ácido linoleico y linolénico), estos triacilglicérols se hidrolizan en alto grado en el rumen por las lipasas bacterianas. Una vez liberados de la combinación éster, los ácidos grasos insaturados son hidrogenados por las bacterias ruminales, dando lugar primeramente a un ácido monoenoico y finalmente a ácido esteárico. Tanto el ácido linoleico como el linolénico presentan dobles enlaces con configuración *cis* pero antes de ser hidrogenados, un doble enlace se convierte en la configuración *trans*; por lo tanto en el líquido ruminal pueden encontrarse ácidos de configuración *trans* (McDonald *et al.*, 1988).

3.2.3 Biohidrogenación

El proceso de biohidrogenación es realizado por distintos tipos de bacterias ruminales, especialmente *Butirivibrio fibrisolvens*. El proceso requiere la hidrólisis previa de las grasas, ya que sólo ocurre cuando los ácidos grasos tienen el grupo carboxilo libre (Demeyer y Doreau, 1999). Los resultados de Doreau y Ferlay (1994) deducen que el grado de hidrogenación de los ácidos linoleico y linolénico es casi total en dietas con menos de un 70% de concentrado, que es el caso habitual en rumiantes extensivos y lecheros. En cambio, la alimentación intensiva de rumiantes en cebo con dietas altamente concentradas y/o la utilización de ionóforos da lugar a un menor grado de hidrogenación, de forma que en estos casos aumenta el grado de insaturación de los lípidos que alcanzan el duodeno.

3.2.4 Productos finales de la biohidrogenación

La hidrogenación del ácido linoleico da lugar al ácido esteárico, en el proceso se forman como productos intermedios ácidos grasos conjugados (principalmente ácido *cis*-9, *trans*-11 octadecadienoico; Fellner *et al.*, 1997) y ácidos grasos monoinsaturados, en configuración *trans* (principalmente ácido *trans*-vaccénico: *trans*-11 octadecenoico; Fellner *et al.*, 1995). La hidrogenación del ácido linoleico no llega generalmente a completarse, de forma que cantidades significativas de ácidos grasos conjugados y, especialmente, *trans*-monoinsaturados alcanzan el duodeno, éstos son absorbidos y se retienen en la leche o en el tejido adiposo. La conversión del ácido linoleico conjugado (CLA) en ácido *trans*-vaccénico es más rápida que la hidrogenación de éste a ácido esteárico, por lo que el ácido *trans*-vaccénico tiende a acumularse en los productos finales. De una revisión de Demeyer y Doreau (1999), se deduce que la proporción de ácido *trans*-vaccénico en el contenido duodenal es particularmente elevada en dietas suplementadas con aceite de soya o de girasol, y que contienen, por tanto, una alta proporción de ácido linoleico fácilmente accesible a la actuación de la flora microbiana ruminal.

3.2.5 Protección de aceites a la acción microbiana ruminal

La dieta tiene normalmente un impacto marginal sobre la composición de la grasa depositada debido a la intensa hidrogenación que tiene lugar en el rumen. Es probable que cambios en pH, intercambio iónico, materia presente en forma de partículas grandes, poblaciones bacterianas existentes y su predominancia relativa influyan también sobre el grado de saturación que se produce (Church, 1988). La hidrogenación es evitada parcialmente mediante el consumo de lípidos protegidos por una envoltura de caseína tratada con formaldehído u otros tratamientos.

La suplementación de ácidos grasos insaturados (AGI) en la forma de sales de Ca o ácidos grasos saturados (AGS) minimizan la posibilidad de efectos adversos asociados con la suplementación de grasa (Chalupa *et al.*, 1986;

Bernard *et al.*, 2012). Estudios han demostrado que la suplementación de AGI en parte, ejerce efecto positivo sobre el metabolismo de los lípidos en el hígado, pero tiene efectos adversos sobre el estado antioxidante (Vecera *et al.*, 2003).

Cuando se proporcionan grasas protegidas a los rumiantes, se incrementa el flujo de triglicéridos, las sales de calcio de ácidos grasos libres se disocian en cierto grado a nivel de rumen y otras a nivel de abomaso, así los lípidos protegidos incrementan la cantidad de ácidos grasos libres que llegan al intestino delgado (Bauman *et al.*, 2003). En tales casos cambiará la grasa depositada para reflejar la composición de los ácidos grasos absorbidos (Church, 1988).

3.2.6 Absorción de lípidos en rumiantes

Como consecuencia del metabolismo del rumen, el lípido que entra en el intestino delgado consta de ácidos grasos que son altamente saturados, principalmente palmítico y esteárico. Los suplementos de lípidos dietéticos pueden resultar en mayor, menor o similar flujo post-ruminal relativo a la ingesta de ácidos grasos, debido a la gama de efectos que pueden tener en la síntesis de lípidos microbianos (Demeyer y Doreau, 1999; Shingfield *et al.*, 2003).

Aproximadamente el 80-90 % de los lípidos que entra en el intestino delgado son como ácidos grasos libres adjuntos a las partículas del alimento (Doreau y Chilliard, 1997) los lípidos restantes son fosfolípidos microbianos, triglicéridos y glicolípidos, estos ácidos grasos esterificados son hidrolizados por lipasas intestinales y pancreáticas (Doreau y Ferlay, 1994). Cuando se suplementan grasas como sales de calcio en la alimentación de rumiantes, los ácidos grasos se disocian en cierta medida en el rumen, pero la disociación es mucho más extensa en las condiciones altamente ácidas del cuajar, así, los lípidos protegidos como sales de Ca de estos suplementos dietéticos, se añaden al grupo de lípidos que llegan a intestino delgado.

La absorción de grasas en el intestino delgado se produce en el yeyuno y la formación de micelas es la clave para la eficiente absorción de ácidos grasos en todas las especies. La absorción de AGI en el intestino delgado es similar para los rumiantes y no rumiantes, pero difiere en el caso de los ácidos grasos saturados (AGS) (Bauchart, 1993).

El coeficiente de absorción intestinal de los ácidos grasos individuales (provenientes de dietas convencionales bajas en grasa) es mayor en rumiantes que en no rumiantes, va desde el 80% para la AGS a 92% de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI). Woods y Fearon (2009) mencionan que la eficiencia de absorción de AGS por los rumiantes se ha atribuido a la capacidad de las sales biliares y al sistema micelar lisofosfolípido para solubilizar los ácidos grasos, así como las condiciones de ácido dentro del duodeno y el yeyuno (pH 3-6). La formación de micelas es la clave para la solubilización y absorción eficiente de ácidos grasos. La bilis suministra sales biliares y lecitina mientras que el jugo pancreático proporciona la enzima fosfolipasa para convertir la lecitina a lisolecitina y elevar el pH con bicarbonato.

La lisolecitina junto con las sales biliares, permiten la formación de la micela. Una vez que se forma la micela facilita la transferencia de los lípidos insolubles en agua a través de la capa de agua no agitada de células epiteliales intestinales del yeyuno, donde los ácidos grasos y lisolecitina se absorben. Dentro de las células epiteliales intestinales, los ácidos grasos son reesterificados en triglicéridos y luego empaquetado en quilomicrones para el transporte de la linfa a la sangre (Bauman y Lock, 2006).

3.2.7 Transporte y almacenamiento de lípidos

En el interior de los enterocitos, los ácidos grasos de menos de doce carbonos no son esterificados y son drenados directamente por la vena porta (Hocquette y Bauchart, 1999). Por el contrario, los ácidos grasos de 12 o más carbonos son esterificados para forma triglicéridos y fosfolípidos (Cuvelier *et al.*, 2005). Los triglicéridos, cantidades pequeñas de monoglicéridos y diglicéridos, fosfolípidos

y el colesterol sintetizado *in situ* son unidos a apoproteínas para formar quilomicrones y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) que son drenados por los conductos lacteales linfáticos para ser incorporados al torrente sanguíneo (Palmquist y Jenkins, 1980). Una diferencia importante entre los no rumiantes y rumiantes es que los AGPI de cadena larga (C20 y C22) que no se han incorporado en triacilglicérols, se incorporan en los fosfolípidos de la membrana y se depositan en cantidades significativas en el tejido intramuscular (Enser *et al.*, 1996).

Las VLDL contienen el 75% de los lípidos de la linfa aunque el aumento de la grasa total y los AGPI de la dieta estimula la secreción de quilomicrones de forma que las proporciones prácticamente pueden invertirse (Bauchart, 1993). La vía linfática es mucho más importante para el transporte de los lípidos absorbidos pero Chilliard (1993) observó que parte de los triglicéridos intestinales eran drenados por la vena porta cuando se consumen dietas ricas en grasa. Según Bauchart (1993), el paso de quilomicrones y VLDL a la sangre portal ocurre cuando las características de la dieta consumida provocan un aumento del tiempo de retención ruminal, lo que favorece que la absorción intestinal de los lípidos sea más lenta.

Bauchart (1993) explica que las VLDL y los quilomicrones son transportados en la sangre junto a las lipoproteínas de baja densidad (LDL), media densidad (IDL) y alta densidad (HDL). Las VLDL y los quilomicrones son los principales responsables del transporte de los ácidos grasos para su almacenamiento en los tejidos de reserva, la síntesis de grasa láctea y la oxidación. En los bovinos, los quilomicrones contienen mayoritariamente triglicéridos (72-87%), mientras que las VLDL contienen menos triglicéridos (45-63%) pero más del doble de fosfolípidos que los quilomicrones (12-17%) y pueden ser de origen hepático e intestinal.

Los ácidos grasos transportados por las VLDL y los quilomicrones son liberados por la enzima lipoproteinlipasa, localizada en la superficie del endotelio capilar, y quedan disponibles para su captación tisular (Palmquist y Jenkins, 1980). La

enzima lipoproteinlipasa se localiza únicamente en los tejidos que utilizan ácidos grasos transportados en las lipoproteínas (musculatura esquelética, hígado, tejido adiposo, glándula mamaria y otros). Chilliard (1993) señaló que el incremento de la grasa de la dieta no cambia o aumenta ligeramente la actividad de la lipoproteinlipasa pero es necesaria una importante actividad de la misma para permitir la captación de los ácidos grasos por los tejidos.

Los ácidos grasos pueden utilizarse para la secreción directa en la leche, la deposición en los tejidos como grasa de reserva o integrantes en las membranas celulares o como fuente de energía por oxidación. Los rumiantes conservan las pequeñas cantidades de ácidos grasos esenciales que escapan a la biohidrogenación ruminal incorporándolos a los ésteres de colesterol y depositándolos selectivamente en los fosfolípidos de las membranas celulares (Demeyer y Doreau, 1999).

3.2.8 Degradación y síntesis de grasas

En adición a los ácidos grasos preformados de origen alimentario, los tejidos pueden sintetizar ácidos grasos de *novo*. En rumiantes, la síntesis se realiza fundamentalmente a partir de acetato, aunque la glándula mamaria utiliza cantidades significativas de betahidroxibutirato (Vernon, 2005) y los adipocitos intramusculares pueden utilizar cantidades importantes de glucosa o lactato para la síntesis (Pethick y Dunshea, 1996) pero es probable que esta vía solamente tenga significancia en rumiantes que consumen grandes cantidades de carbohidratos digestibles (Bell, 1982).

La síntesis de *novo* requiere que el acetato sea activado a acetyl-CoA por la enzima acetyl-CoA sintetasa y posteriormente sea carboxilado por la enzima acetyl-CoA carboxilasa para formar malonil-CoA (Nguyen *et al.*, 2008). El principal producto de la síntesis de *novo* es el ácido palmítico. Este puede ser elongado en la mitocondria hasta ácidos grasos de 22 carbonos, mientras que los microsomas pueden elongar y desaturar ácidos grasos desde 18 carbonos (Demeyer y Doreau, 1999).

3.2.9 Lipólisis de las grasas

La lipólisis ocurre de forma rápida y casi total (90% en menos de una hora). Sin embargo, un incremento de la concentración de almidón en la dieta reduce, de forma muy significativa, la tasa de lipólisis en el rumen (Gerson *et al.*, 1985). Este resultado podría ser debido a un cambio selectivo en la composición de la flora microbiana relacionado con el aumento paralelo de la acidez del contenido ruminal. En este sentido, Van Nevel y Demeyer (1995) observaron que un descenso del pH desde 6.3 hasta 5.25 reducía linealmente la liberación de ácido linoleico a partir de aceite de soya hasta menos de un tercio. También se ha observado que la adición de antibióticos y ionóforos, reduce el grado de lipólisis *in vitro* (Van Nevel y Demeyer, 1995). Estas circunstancias (acidosis y uso de ionóforos) se dan actualmente en la práctica en los sistemas intensivos de cebo de rumiantes, en los que habría que esperar, por tanto, un mayor grado de estabilidad de la grasa en el rumen.

Otro factor que influye en la velocidad y grado de lipólisis es la fuente de grasa, ya que tiende a ser más alta cuando las grasas se suministran puras que cuando se encuentran protegidas (formando jabones cálcicos, por ejemplo) o integradas en una estructura celular, como las semillas oleaginosas enteras (Doreau y Ferlay, 1994). En este sentido, los resultados de Reddy *et al.* (1994) indican que el grado de hidrólisis del aceite de soya es superior cuando se suministra puro que cuando se añade a la dieta en forma de haba de soya integral.

3.3 Influencia del uso de aceites sobre los parámetros productivos de ovinos en engorda

3.3.1 Importancia y composición del aceite de atún y linaza

Los ácidos grasos esenciales tienen una amplia variedad de efectos en la salud, incluyendo efectos positivos en enfermedades cardiovasculares, algunos tumores, procesos inflamatorios, en el desarrollo del cerebro y de las funciones

mentales y en general, enfermedades en las que la proliferación incontrolada de radicales libres es muy perjudicial (Harborne y Williams, 2000; Reddy *et al.*, 2003 y Trouillas *et al.*, 2003).

Los aceites contienen triacilgliceroles de ácidos grasos, principalmente con cantidades inconsistentes de fosfolípidos y ésteres de glicerol. Es característico de los aceites que contengan una gama amplia de ácidos grasos de cadena larga, además de un alto grado de inestabilidad e insaturación principalmente por el alto número de ligaduras dobles (Bauman *et al.*, 2003).

La inclusión de aceites vegetales en las dietas, promueven baja concentración de ácidos grasos de cadena corta (incluido 4:0) y de cadena media, y alta concentración de linoleico y linolénico incluidos el oleico y esteárico. El aceite de girasol y linaza son excelentes fuentes de ácido linoleico y linolénico (Rego *et al.*, 2009).

El ácido linoleico (18:2 n-6), que es el más importante de la familia de los n-6, es esencial y no puede ser sintetizado por los mamíferos, este ácido graso es encontrado en los aceites de semillas y en las nueces. El alfa ácido linoleico (18:3 n-3) es encontrado en diversos vegetales, nueces, pastas de soya, linaza y aceites vegetales (Breanne y David, 2009).

La linaza se selecciona por su alto contenido en ácido linolénico (C18: 3n-3), representando éste más del 50% de los ácidos grasos que contiene, por lo que productos de origen animal enriquecidas en AGPI n-3 por linaza, pueden ser buenos proveedores de estos ácidos grasos en la dieta humana (Kouba y Mourot, 2011).

3.3.2 Origen de ácidos grasos en las raciones

La grasa en la dieta de un animal suministra ácidos grasos esenciales, vitaminas liposolubles y energía concentrada. La elección de grasa o aceite y la forma en la que se incluye en las raciones alimenticias se decide en función de: 1) el costo y disponibilidad de la materia prima, tanto a nivel local como en el

mercado mundial, 2) el impacto de la grasa o el aceite y su composición de ácidos grasos en la digestibilidad de los alimentos, 3) la influencia de los consumidores y 4) los reglamentos de alimentación animal en relación con suplementos permitidos (Woods y Fearon, 2009).

Los lípidos pueden ser suministrados en la dieta de un animal a través de diversas fuentes tales como forrajes, cereales, semillas de oleaginosas o aceites vegetales o animales. El Cuadro 1, resume el contenido de ácidos grasos de aceites vegetales y de origen animal.

Cuadro 1. Contenido típico de ácidos grasos en diferentes alimentos (g/100 g de AG totales).

Fuente de aceite	Contenido de aceite (g/kg en fresco)	16:0	18:0	18:1c n-9	18:2 n-6	18:3 n-3
Linaza	360	6.1	3.4	18.8	16.3	54.40
Colza	400	4.8	2.1	60.5	20.8	9.20
Soya	180	11.4	4.1	22.3	53.5	7.00
Semilla de girasol	400	5.1	4.3	21.6	66.8	0.20
Pescado				20.4	23.4	1.27

Fuente; US International Trade Commission, 2003 y Glasser *et al.*, 2008.

3.3.3 Cambios en el comportamiento productivo al incluir aceite en las raciones

Generalmente el rumiante es intolerante a altos niveles de grasa en la dieta. Según Johnson y McClure (1972) la adición mayor al 5% de grasa en raciones para ganado bovino disminuye el consumo de alimento. Brooks *et al.* (1954) y Davison y Woods (1963) demostraron que al adicionar niveles bajos de grasa, aceites o ácidos grasos en las raciones de rumiantes pueden deprimir la digestibilidad de la celulosa. Allen (2000) estima un 2.5% en la reducción de la digestibilidad de la materia seca (DMI) por aumentar una unidad porcentual cuando se utilizan grasas protegidas como sales de calcio en la dieta.

3.3.4 Modificaciones en la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia

La suplementación de raciones forrajeras con niveles moderados de grasas y en particular grasas como sales de calcio, en términos de digestibilidad, aporte energético e interacción con los demás componentes de la dieta (Doreau *et al.*, 1993; Ferlay y Doreau, 1995), se ha dirigido principalmente a la producción de leche (Kim *et al.*, 1993; Ávila *et al.*, 2000) o al ganado que consumen raciones de engorda de alta energía (Block *et al.*, 1991; Zinn y Plascencia, 1993; Elliott *et al.*, 1999).

El incremento en la ganancia de peso vivo obtenido al incluir sales de calcio, está de acuerdo con la respuesta que se obtiene al suplir niveles moderados de grasas en las raciones de los rumiantes (Chilliard, 1993; Enjalbert, 1995; Szumacher-Strabel *et al.*, 2000), lo que se refleja de manera positiva en la conversión alimenticia.

Trabajos dirigidos para modificar el perfil de ácidos grasos (AG) con aceite de pescado en las dietas afectan el comportamiento del ganado reduciendo el contenido de grasa en leche de ovejas (Capper *et al.*, 2007) y vacas (Cruz-Hernández *et al.*, 2007; Gama *et al.*, 2008). Toral *et al.* (2010) encontraron aumento significativo de ácido linoleico (*cis*-9 18:1) en leche al alimentar con aceite de girasol a ovejas en lactación aunque se redujo el porcentaje de grasa y proteína.

3.4 Ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6 en la salud humana y calidad de productos de rumiantes para consumo humano

Un crecimiento epidémico de enfermedades crónicas relacionado con la dieta y tipo de vida en humanos, afectan el crecimiento y el desarrollo de los países ya que cada día se presentan mayores incidencias de enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes siendo hoy una de las causas principales de muerte prematura (World Health Organization, 2003).

La proporción de ácidos grasos saturados (AGS) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en la grasa de leche generalmente se considera indeseable desde el punto de vista de la nutrición humana a causa de un probable vínculo entre la dieta con ácidos grasos saturados de cadena media (C:12, C:14 y C:16) el colesterol sérico y enfermedades cardíacas (Chilliard *et al.*, 2007).

Los tejidos lipídicos en rumiantes tienen notablemente un alto grado de saturación, este efecto viene primordialmente por el proceso de la biohidrogenación en el rumen donde se reducen ácidos grasos poliinsaturados a ácidos saturados y monosaturados (Johnson y McClure, 1972) causando que los productos cárnicos de rumiantes sean objeto de críticas en relación con la etiología de enfermedades cardiovasculares.

El descubrimiento de potencial anticancerígeno, antiaterosclerótico y los efectos antidiabéticos del ácido linoleico conjugado (Pariza *et al.*, 2001; Shingfield *et al.*, 2008; Breanne y David, 2009) metabolito que resulta de la biohidrogenación incompleta del ácido linoleico y el papel reconocido en la salud humana de los ácidos grasos n-3 y n-6 (Simopoulos, 2008) han llevado a un aumento de estudios en la última década a la búsqueda para mejorar el contenido de estos compuestos bioactivos en productos derivados de rumiantes, principalmente en la leche de bovinos y recientemente en productos cárnicos.

La grasa comestible de rumiantes es la principal fuente de CLA en la dieta de los humanos (Rego *et al.*, 2009). El principal isómero de CLA es producido por bacterias ruminales de dietas con ácido linoleico y por Δ^9 desaturasa del ácido graso 18:1 trans-11 presente en tejidos animales y humanos (Shingfield *et al.*, 2008).

Ovejas lecheras han presentado hasta cuatro veces más el contenido de ácido linoleico conjugado al incluir una dieta con aceite de girasol rica en ácido linoleico (Hervás *et al.*, 2008), mientras que Rego *et al.*, (2009), al suplementar con aceite de girasol encontraron concentraciones altas de isómeros de ácido

linoleico 18:1 *trans*-10, 18:1 *cis*-12 y 18:2 *trans*-10, *trans* 12. La suplementación de dietas a vacas lecheras con lípidos insaturados es altamente efectivo generalmente para incrementar el contenido de CLA en leche (Chilliard *et al.*, 2007).

Casi todos los ácidos grasos insaturados presentan la configuración *cis* entre los átomos de carbonos insaturados y, como consecuencia, la grasa depositada en los rumiantes refleja la de la dieta y la mayoría de sus ácidos grasos presentan forma *cis*. Sin embargo, los microorganismos del rumen producen normalmente una variedad de isómeros *trans* de los ácidos grasos así como también alteraciones en la longitud de su cadena, cambios en la posición de los dobles enlaces y producción de ácidos grasos de cadenas impares y de cadenas ramificadas, todos los cuales sirven para que la grasa segregada y depositada en los rumiantes difiera notablemente de la grasa de la dieta (Church, 1988).

3.4.1 Factores que afectan la calidad y cantidad de grasa en productos de origen animal

El origen de los lípidos en los alimentos o raciones tienen generalmente una relación directa y predecible sobre la composición de ácidos grasos en los tejidos del ganado si se evita la biohidrogenación por los microorganismos ruminales a los ácidos grasos insaturados (Chesworth *et al.*, 1998), por tanto el suministro de ácidos grasos insaturados a los tejidos pueden ser mediante el aumento de su proporción en la dieta (Woods y Fearon, 2009).

Existen factores internos y externos que influyen tanto en la cantidad y la calidad de los lípidos en productos de origen animal. Dentro de los factores internos se tiene a la edad o peso, género, el genotipo (Woods y Fearon, 2009) y la castración, dentro de los externos se mencionan; la temperatura, el tiempo y tipo de alimentación, estos factores tienen una influencia en la composición de ácidos grasos de los lípidos en los productos cárnicos (Kouba y Mouroto, 2011). Los factores genéticos influyen en la composición de ácidos grasos en la carne,

pero en un menor grado que los factores dietéticos (De Smet *et al.*, 2004). Kazala *et al.* (1999) y Calles *et al.* (2000) informaron que el efecto del género en el perfil de ácidos grasos en el contenido de grasa intramuscular es importante tras haber encontrado diferencias estadísticas al comparar hembras y machos.

El perfil de ácidos grasos intramuscular es afectado por factores nutricionales, se relaciona con una estrategia de alimentación especial y de acuerdo al sistema de producción. Varios estudios se han llevado a cabo para modificar la composición de ácidos grasos de tejidos de origen animal mediante técnicas nutricionales que incluyen aceites específicos o semillas de oleaginosas, productos marinos o forrajes (Raes *et al.*, 2004).

Pocos estudios se han realizado para encontrar el tiempo necesario para la incorporación de cantidades significativas de n-3 AGPI en productos de origen animal. En un estudio se alimentaron cerdos con dietas que contenían 15% de linaza y sin linaza durante 7, 14, 21 y 28 días antes del sacrificio, los tejidos cárnicos mostraron un aumento global de los niveles de n-3 AGPI; sin embargo, las concentraciones de n-3 AGPI fueron similares cuando los cerdos fueron alimentados por 21 y 28 días con la dieta de linaza (Romans *et al.*, 1995). Estos estudios muestran que manipulando el tiempo de ofrecimiento de las dietas, pueden ser una realidad práctica para las industrias.

3.4.2 Efecto de la utilización de aceite de atún y linaza en producción de carne

La composición de ácidos grasos de productos animales (huevo, leche y carne) es el reflejo de dos procesos, la biosíntesis de ácidos grasos en los tejidos y la composición de ácidos grasos de los lípidos ingeridos.

El uso de harina o aceite de pescado en las dietas incrementan el nivel de ácidos grasos de cadena larga n-3 en productos animales y puede ocurrir una serie de problemas organolépticos que afectan negativamente a la carne. Es bien conocido que la incorporación de aceites de pescado en niveles

relativamente bajos (10-30 g/kg de dieta), especialmente en animales monogástricos, pueden dar lugar a malos sabores y olores en el producto (Kouba *et al.*, 2008). A medida que la concentración de AGPI n-3 aumenta, la oxidación de lípidos se incrementa, en un estudio de Vatansever *et al.* (2000) al utilizar aceite de pescado y linaza, encontraron que fue más alta la oxidación en carne de ganado que se suplementó con aceite de pescado.

Un ácido graso insaturado es más susceptible a la oxidación, por lo tanto, existe una correlación inversa entre la instauración de un tejido y la vida útil. Las semillas de linaza presenta un alto contenido de ácido alfa-linolénico que es susceptible a la oxidación, pero es menor a la que presentan el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) del aceite de pescado (Kouba y Mouro, 2011).

Wood *et al.* (2003), informaron que los ácidos grasos de la carne afectan la dureza del tejido graso, la vida útil y el sabor. La dureza del tejido graso es afectada por el punto de fusión, mientras que la vida útil es mediada por la susceptibilidad de los ácidos grasos a desarrollar mal sabor y color debido a la oxidación de oximioglobina y por lo general al proceder en paralelo la rancidez.

Vatansever *et al.* (2000) informaron que la composición de ácidos grasos de la carne fue modificada al ofrecer diferentes suplementos de grasa (Megalac, aceite de linaza y pescado al 3% de la MS) durante 120 días, cuando se suplementó aceite de pescado y aceite de linaza aumentó significativamente DHA en los fosfolípidos de la carne (1.26 y 1.63 g/100 g FA respectivamente) sobre la dieta de control (0.72 g/100 g FA). Cuando se suplementó aceite de linaza se incrementó significativamente el contenido de ALA (alfa ácido linoleico).

Cerdos alimentados con dietas que contienen aceite de pescado conducen a importantes enriquecimiento de algunos tejidos con ácido eicosapentaenoico y docosahexaenoico (Kouba, 2006).

3.4.3 Perfil de ácidos grasos en carne de ovinos

La carne de cordero tiene normalmente una relación baja de AGPI:AGS en comparación con carne de cerdo, debido a la biohidrogenación ruminal de AGI (Woods y Fearon, 2009). En el Cuadro 2, se observa la composición de ácidos grasos de productos y/o tejidos en diferentes especies animales.

Kouba y Mourot (2011) informaron que corderos alimentados con dieta de linaza exhibieron una proporción significativa de ácido linolénico en los músculos de los animales al compararlos con los que no incluyeron linaza en su alimentación. Recientemente, Missotten *et al.* (2009), mostraron que las dietas de n-3 AGPI enriquecidos no sólo tenían consecuencias directas en la composición de ácidos grasos en el tejido de cerdos sino que también podría afectar indirectamente la composición de ácidos grasos a través de la modulación de la expresión de la enzima lipogénica.

Cuadro 2. Principales ácidos grasos en productos de origen animal.

		4:0- 10:0	12:0	14:0	16:0	18:0	Total trans	Total trans mono	Total trans poly	18:1c n-9	18:2 n-6	18:3 n-3	20:4 n-6	20:5 n-3	22:5 n-3	22:6 n-3	n6:n-3
Leche	Entera	7	4.0	10.8	28.0	10.8	3.7	2.9	0.8	21.2	1.9	0.5	ND	ND	Tr	ND	3.8
Bovino	Músculo	ND	ND	2.5	24.6	15.0	3.6	2.8	0.8	39.1	2.8	0.8	0.5	0.3	0.5	ND	2.1
	Grasa	ND	0.3	3.1	25.7	17.4	4.9	3.5	1.4	36.6	1.0	0.5	ND	ND	ND	ND	2.0
Cordero	Músculo	0.3	0.5	5.2	21.7	17.6	8.2	7.0	1.2	32.3	1.8	1.2	0.5	0.3	0.4	0.1	1.2
	Grasa	0.3	0.6	5.9	21.8	19.9	9.7	8.4	1.3	28.8	1.2	1.1	<0.1	Tr	0.1	ND	1.0
Cerdo	Músculo	ND	ND	ND	22.8	12.4	0.5	0.5	Tr	37.4	1.1	1.4	1.1	0.3	0.5	0.3	6.4
	Grasa	<0.1	ND	1.1	23.3	13.0	0.7	0.6	<0.1	38.7	1.4	1.5	0.2	ND	0.2	0.2	7.9
Pollo	Dark meat	ND	ND	ND	20.4	6.0	0.8	0.8	Tr	42.7	1.5	2.6	0.4	ND	0.4	0.4	5.0
	Light meat	ND	ND	ND	18.9	6.0	0.9	0.9	Tr	36.1	2.6	1.7	0.8	Tr	0.8	0.8	4.4
Huevo	Entero	ND	ND	ND	24.0	8.4	1.3	1.2	0.1	42.8	1.7	0.9	ND	ND	ND	ND	19.1

Tr = trazas no cuantificables; ND = No detectado.

Fuente: Woods y Fearon, 2009.

4. LITERATURA CITADA

- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83: 1598-1624.
- Avila, C. D., E. J. De Peters, H. Pérez-Monti, S. J. Taylor, and R. A. Zinn. 2000. Influences of saturation ratio of supplemental dietary fat on digestion and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83: 1505-1519.
- Bauchart, D. 1993. Lipid absorption and transport in ruminants. *Journal of Dairy Science* 76: 3864-3881.
- Bauman, D. E., and A. L. Lock. 2006. Concepts in lipid digestion and metabolism in dairy cows. *Tri-State Dairy Nutrition Conference*. Cornell University. pp: 1-14.
- Bauman, D. E., J. W. Perfield, M. J. De Veth, and A. L. Lock. 2003. New perspectives on lipids digestion and metabolism in ruminants. *Cornell Nutrition Conference*. pp: 175-189.
- Bell, A. W. 1982. Control of lipid metabolism in ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia* 7: 97-104.
- Belury, M. A. 2002. Inhibition of carcinogenesis by conjugated linoleic acid: potential mechanisms of action. *Journal of Nutrition* 132: 2995-2998.
- Bernard, J. K., J. J. Castro, and A. F. Kertz. 2012. Performance and metabolic measures of lactating dairy cows fed diets supplemented with either mostly saturated or more unsaturated fatty acids. *The Professional Animal Scientist* 28: 494-501.
- Block, B. J., D. L. Harmon, R. T. Brandt, and J. E. Schneider. 1991. Fat source and calcium level effects on finishing steer performance, digestion and metabolism. *Journal of Animal Science* 69: 2211-2224.
- Breanne, M. A., and W. L. Ma. David. 2009. Are all n-3 polyunsaturated fatty acids created equal? *Lipids in Health and Disease* 8: 33.
- Bremmer, D. R., L. D. Ruppert, J. H. Clark, and J. K. Drackley. 1998. Effects of chain length and unsaturation of fatty acid mixtures infused into the abomasum of lactating dairy cows. *Journal of Animal Science* 81: 176-188.
- Brooks, C. C., G. B. Garner, C. W. Gehrke, M. E. Muhrer, and W. H. Pfander. 1954. The effect of added fat on the digestion of cellulose and protein by ovine rumen microorganisms. *Journal of Animal Science* 13: 758-764.
- Calles, J. A. E., C. T. Gaskins, J. R. Busboom, S. K. Duckett, J. D. Cronrath, and J. J. Reeves. 2000. Sire variation in fatty acid composition of crossbred Wagyu steers and heifers. *Meat Science* 56: 23-29.

- Capper, J. L., R. G. Wilkinson, A. M. Mackenzie, and L. A. Sinclair. 2007. The effect of fish oil supplementation of pregnant and lactating ewes on milk production and lamb performance. *Animal* 1: 889-898.
- Chalupa, W., B. Vecchiarelli, A. E. Elser, and D. S. Kronfeld. 1986. Ruminant fermentation in vivo as influenced by long-chain fatty acids. *Journal of Animal Science* 69: 1293-1301.
- Chesworth, J. M., T. Stuchbury, and J. R. Scaife. 1998. *An Introduction to Agricultural Biochemistry*. Chapman and Hall, London, UK.
- Chilliard, Y. 1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: a review. *Journal of Dairy Science* 76: 3897-3931.
- Chilliard, Y., F. Glasser, A. Ferlay, L. Bernard, J. Rouel, and M. Doreau. 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology* 109: 828-855.
- Church, D. C. 1988. *El Rumiente Fisiología Digestiva y Nutrición*. Editorial Acriba. Zaragoza, España. 641 p.
- Cruz-Hernández, C., J. K. G. Kramer, J. J. Kennelly, D. R. Glimm, B. M. Sorensen, E. K. Okine, L. A. Goonewardene, and R. J. Weselake. 2007. Evaluating the conjugated linoleic acid and trans 18:1 isomers in milk fat of dairy cows fed increasing amounts of sunflower oil and a constant level of fish oil. *Journal of Dairy Science* 90: 3786-3801.
- Cuvelier, C., J. F. Cabaraux, I. Ufrasne, L. Istasse, and J. L. Hornick. 2005. Production, digestion et absorption des acides gras chez le ruminant. 149: 49-59.
- Davison, K. L., and W. Woods. 1963. Effect of calcium and magnesium upon digestibility of a ration containing corn oil by lambs. *Journal of Animal Science* 22: 27-29.
- De Smet, S., K. Raes, and D. Demeyer. 2004. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research* 53: 81-89.
- Demeyer, D., and D. Doreau. 1999. Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proceedings of the Nutrition Society* 58: 593-607.
- Doreau, M., A. Ferlay, and Y. Elmeddah. 1993. Organic matter and nitrogen digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil. *Journal of Animal Science* 71: 499-504.
- Doreau, M., and A. Ferlay. 1994. Digestion and utilization of fatty-acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 45: 379-396.
- Doreau, M., and Chilliard. 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British Journal of Nutrition* 78: 15-35.
- Elliott, J. P., J. K. Drackley, A. D. Beaulieu, C. G. Aldrich, and N. R. Merchen. 1999. Effects of saturation and esterification of fat sources on digestion

- site and extent of digestion in steers: Digestion of fatty acids, triglycerides and energy. *Journal of Animal Science* 77: 1919-1929.
- Enjalbert, F. 1995. Les lipides dans la alimentation des ruminants. 1 Principales sources et conséquences sur la digestion ruminale. *Revue de Médecine Veterinaire* 146: 299.
- Enser, M., K. Hallett, B. Hewett, G. A. J. Fursey, and J. D. Wood. 1996. Fatty acid content and composition of english beef, lamb and pork at retail. *Meat Science* 42: 443-456.
- Fellner, V., F. D. Sauer, and J. K. G. Kramer. 1995. Steady-state rates of linoleic acid biohydrogenation by ruminal bacteria in continuous culture. *Journal of Dairy Science* 78: 1815-1823.
- Fellner, V., F. D. Sauer, and J. K. G. Kramer. 1997. Effect of nigericin, monensin, and tetronasin on biohydrogenation in continuous flow-through ruminal fermenters. *Journal of Dairy Science* 80: 921-928.
- Ferlay, A., and M. Doreau. 1995. Influence of method of administration of rapeseed oil in dairy cows. 2. Status of divalent cations. *Journal of Dairy Science* 78: 2239-2246.
- Gama, M. A. S., P. C. Garnsworthy, J. M. Griinari, P. R. Leme, P. H. M. Rodrigues, L. W. O. Souza, and D. P. D. Lanna. 2008. Diet-induced milk fat depression: association with changes in milk fatty acid composition and fluidity of milk fat. *Livestock Science* 115: 319-331.
- Gerson, T., A. John, and A. S. D. King. 1985. The effects of dietary starch and fibre on the *in vitro* rates of lipolysis and hydrogenation by sheep rumen digesta. *Journal of Agricultural Science* 105: 27-30.
- Glasser, F., A. Ferlay, and Y. Chilliard. 2008. Oilseed lipid supplements and fatty acid composition of cow milk: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science* 91: 4687-4703.
- Harborne, J. B., and C. A. Williams. 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry* 55: 481-504.
- Hervás, G., P. Luna, A. R. Mantecon, N. Castañares, M. A. De La fuente, M. Juárez, and P. Frutos. 2008. Effect of diet supplementation with sunflower oil in milk production, fatty acid profile and ruminal fermentation in lactating ewes. *Journal of Dairy Research* 75: 399-405.
- Hocquette, J. F., and D. Bauchart. 1999. Intestinal absorption, blood transport and hepatic and muscle metabolism of fatty acids in preruminant and ruminant animals. *Reproduction Nutrition Development* 39: 27-48.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science* 76: 3851-3863.
- Johnson, R. R., and K. E. McClure. 1972. High fat rations for ruminants. I. The addition of saturated and unsaturated fats to high roughage and high concentrate rations. *Journal of Animal Science* 34: 501-509.

- Kazala, E. C., F. J. Lozeman, P. S. Mir, A. Laroche, D. R. C. Bailey, and R. J. Weselake. 1999. Relationship of fatty acid composition to intramuscular fat content in beef from crossbred Wagyu cattle. *Journal of Animal Science* 77: 1717-1725.
- Kim, Y. K., D. J. Schingoethe, D. P. Casper, and F. C. Ludens. 1993. Supplemental dietary fat from extruded soybeans and calcium soaps of fatty acids for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76: 176-204.
- Kouba, M., and J. Mourot. 2011. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie* 93: 13-17.
- Kouba, M., F. Benatmane, J. E. Blochet, and J. Mourot. 2008. Effect of a linseed diet on lipid oxidation, fatty acid composition of muscle, perirenal fat, and raw and cooked rabbit meat. *Meat Science* 80: 829-834.
- Kouba, M. 2006. Effect of dietary omega-3 fatty acids on meat quality of pigs and poultry. in: M.C. Teale (Ed.), *Omega-3 Fatty Acid Research*. Nova Publishers, New York. pp: 225-239.
- McDonald, P., R. A. Edwards, and J. F. D. Greenhalgh. 1988. *Nutrición animal*. Cuarta edición. Editorial Acribia. 555 p.
- McGuire, M. A., and M. K. McGuire. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA): A ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *Journal of Animal Science* 77: 1-8.
- Missotten, J., S. De Smet, K. Raes, and O. Doran. 2009. Effect of supplementation of the maternal diet with fish oil or linseed oil on fatty acid composition and expression of D5 and D6 desaturase in tissues of piglets. *Animal* 3: 1196-1204.
- Nguyen, P., V. Leray, M. Diez, S. Serisier, J. Le Bloc'h, B. Siliart, and H. Dumon. 2008. Liver lipid metabolism. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 92: 272-283.
- Palmquist, D. L., and T. C. Jenkins. 1980. Fat in lactation rations: review. *Journal of Dairy Science* 63: 1-14.
- Pariza, M. W., Y. Park, and M. E. Cook. 2001. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Progress in Lipid Research* 40: 283-298.
- Pethick, D. W., F. R. Dunshea. 1996. The partitioning of fat in farm animals. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia* 20: 3-13.
- Partida de la P., J. A., D. Braña V., H. Jiménez S., F. G. Ríos R., G. Buendía R. 2013. Producción de carne ovina. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/MANUALES%20INIFAP/Manual%20Produccion%20de%20Carne%20Ovina.pdf>. Consultada el 29 de noviembre de 2013.
- Raes, K., S. De Smet, and D. Demeyer. 2004. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated

- linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. *Animal Feed Science and Technology* 113: 199-221.
- Reddy, L., B. Odhav, and K. D. Bhoola. 2003. Natural products for cancer prevention: a global perspective. *Pharmacology & Therapeutics* 99: 1-13.
- Reddy, P. V., J. L. Morrill, and T. G. Nagaraja. 1994. Release of free and subsequent fatty acids from raw or processed soybeans effects on fiber digestibilities. *Journal of Dairy Science* 77: 3410-3416.
- Rego, O. A., S. P. Alves., L. M. S. Antunes, H. J. D. Rosa, C. F. M. Alfaia, J. A. M. Prates, A. R. J. Cabrita, A. J. M. Fonseca, and R. J. B. Bessa. 2009. Rumen biohydrogenation-derived fatty acids in milk fat from grazing dairy cows supplemented with rapeseed, sunflower, or linseed oils. *Journal of Dairy Science* 92: 4530-4540.
- Romans, J. R., R. C. Johnson, D. M. Wulf, G. W. Libal, and W. J. Costello. 1995. Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: II. Duration of 15% dietary flaxseed. *Journal of Animal Science* 73: 1987-1999.
- Shingfield, K. J., S. Ahvenjarvi, V. Toivonen, A. Arola, K. V. V. Nurmela, P. Huhtanen, and J. M. Griinari. 2003. Effect of dietary fish oil on biohydrogenation of fatty acids and milk fatty acid content in cows. *Animal Science* 77: 165-179.
- Shingfield, K. J., Y. Chilliard, V. Toivonen, P. Kairenius, and D. I. Givens. 2008. Trans fatty acids and bioactive lipids in ruminant milk. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 606: 3-65.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2012. http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/PoblacionGanadera/Resumen/Resumen.pdf. Consultado el 29 de noviembre de 2013.
- Simopoulos, A. P. 2008. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic disease. *Experimental Biology and Medicine* 233: 674-688.
- Szumacher-Strabel, M., A. Cieslak, and A. Potkanski. 2000. A note on the effect of diet and type of fat on cellulose degradability in the rumen of sheep. *Journal of Animal and Feed Sciences* 9: 527-532.
- Toral, P. G., P. Frutos, G. Hervás, P. Gómez-Cortés, M. Juárez, and M. A. De La fuente. 2010. Changes in milk fatty acid profile and animal performance in response to fish oil supplementation, alone or in combination with sunflower oil, in dairy ewes. *Journal of Dairy Science* 93: 1604-1615.
- Trouillas, P., C. A. Calliste, D. P. Allais, A. Simon, A. Marfak, C. Delage, and J. L. Duroux. 2003. Antioxidant, anti-inflammatory and antiproliferative

- properties of sixteen water plant extracts used in the Limousin countryside as herbal teas. *Food Chemistry* 80: 399-407.
- Turpein, A., S. Barlund, R. Freese, P. Lawrence, and J. Thomas. 2006. Effects of conjugated linoleic acid on linoleic and linolenic acid metabolism in man. *British Journal of Nutrition* 95: 727-733.
- US International Trade Commission. 2003. Industry Trade Summary: Oilseeds, US International Trade Commission Publication 3576. In USITC, Washington, US. pp. 3-5.
- Van Nevel, C., and D. I. Demeyer. 1995. Lipolysis and biohydrogenation of soybean oil in the rumen *in vitro*: inhibition by antimicrobials. *Journal of Dairy Science* 78: 2797-2806.
- Vatansever, L., E. Kurt, M. Enser, G. R. Nute, N. D. Scollan, J. D. Wood, and R. I. Richardson. 2000. Shelf life and eating quality of beef from cattle of different breeds given diets differing in n-3 polyunsaturated fatty acid composition. *Animal Science* 71: 471-482.
- Vecera, R., Skottová, P. Vaňa, L. Kazdová, Z. Chmela, Z. Svagera, D. Walterová, J. Ulrichová, and V. Simánek. 2003. Antioxidant status, lipoprotein profile and liver lipids in rats fed on high-cholesterol diet containing currant oil rich in n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids. *Physiological Research* 52: 177-187.
- Vernon, R. G. 2005. Lipid metabolism during lactation: a review of adipose tissue-liver interactions and the development of fatty liver. *Journal of Dairy Research* 72: 460-469.
- Wood, J. D., R. I. Richardson, G. R. Nute, A. V. Fisher, M. M. Campo, E. Kasapidou, P. R. Sheard, and M. Enser. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science* 66: 21-32.
- Woods, V. B., and A. M. Fearon. 2009. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review. *Livestock Science* 126: 1-20.
- World Health Organization. 2003. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Report of a joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical reports Series 916. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *Journal of Animal Science* 79: 11-17.

5. ACEITE DE ATÚN Y DE LINAZA PROTEGIDOS EN LA FERMENTACION *IN VITRO* DE DIETAS PARA CORDEROS

5.1 Resumen

Se investigó el efecto del tipo, nivel de aceite y de protección en la fermentación y digestión de una dieta para ovinos. Se adicionó a la dieta testigo aceite de atún o aceite de linaza a tres niveles (1, 2 y 3%), protegidos con alginato y saponificados con Ca(OH)_2 y NaOH o sin protección. Los tratamientos fueron 25 con seis repeticiones en un diseño completamente al azar y se compararon las medias por contrastes. Las variables fueron: volumen máximo (V_m ; mL g^{-1}), tasa de fermentación (S ; h^{-1}), fase de retardo (L ;h), volumen fraccional (V_f) de gas; de 0 a 8, 8 a 26 y de 26 a 68 h de fermentación *in vitro* y la digestibilidad de la materia seca a 92 h (DIVMS). La protección con alginato causó menor V_m ($P=0.04$; 293.6 mL g^{-1}) con respecto a la saponificación (316.0 mL g^{-1}) y la DIVMS fue deprimida ($P=0.014$) por la saponificación con NaOH con respecto al aceite sin protección. El aceite de linaza redujo ($P<0.05$) el V_f de 0 a 8 h (8%) y el aceite de atún disminuyó ($P<0.05$) el V_f de 26 a 68 h en 14%. Se concluye que la adición de aceite a la dieta y el método de protección afectaron la cinética de fermentación y DIVMS.

Palabras clave: ácidos grasos, digestibilidad, saponificación, corderos.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Gemma Razo Herrera
Director: MC. Carlos Sánchez Del Real

TUNA AND LINSEED OIL PROTECTED IN THE *IN VITRO* FERMENTATION OF DIETS FOR LAMBS

5.2 Abstract

The effect of oil type and level and protection in *in vitro* fermentation and digestion of diets for lambs was investigated. The control diet was supplemented with tuna oil or linseed oil at three levels (1, 2 and 3%), protected with alginate, or saponified with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH or unprotected. There were 25 treatments with six replicates in a completely randomized design and the comparison of means was by contrasts. Variables measured were: maximum volume (V_m ; mL g^{-1}), fermentation rate (S , h^{-1}), lag phase (L , h), gas fractional volume (V_f); from 0 to 8, 8 to 26 and 26 to 68 h of *in vitro* fermentation, and the digestibility of dry matter (DIVMS). Alginate protection caused lower V_m ($P=0.04$; 293.6 mL g^{-1}) regarding to saponification (316.0 mL g^{-1}) and the DIVMS was depressed ($P=0.014$) for the saponification with NaOH dealing with the unprotected oil. Linseed oil decreased ($P<0.05$) V_f of 0 to 8 h, tuna oil decreased V_f from 26 to 68 h ($P<0.05$). In conclusion, the addition of oil to the diet and the method of protection did affects fermentation kinetics and DIVMS.

Key words: fatty acids, digestibility, saponification, lambs.

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Gemma Razo Herrera
Advisor: MC. Carlos Sánchez Del Real

5.3 Introducción

Adicionar grasa a la dieta representa una estrategia alimenticia para aumentar la densidad energética de la dieta para rumiantes (Block *et al.*, 1991; Zinn y Plascencia, 1993; Elliott *et al.*, 1999) y mejorar la composición de ácidos grasos insaturados en leche y carne (Kim *et al.*, 1993; Ávila *et al.*, 2000; Toral *et al.*, 2010). La hidrogenación microbiana de grasas en el rumen (McDonald *et al.*, 1988; Bauman y Lock, 2006), puede reducir la acumulación de ácidos omega-3 en la carne. Además un contenido de grasa mayor a 7% (BS) en la dieta reduce la digestión y fermentación ruminal, por lo que se sugiere que la adición de grasa sea igual o menor al 5% (Church, 1988). Los ingredientes ricos en ácidos grasos insaturados deprimen la digestibilidad de la materia seca y de la fibra, lo cual se atribuye a que recubren las partículas de alimento y causan efectos tóxicos en los microorganismos y tensoactivos en la membrana microbiana (Bremmer *et al.*, 1998). Los aceites de atún y linaza son ricos en ácidos grasos insaturados (AGI) esenciales como ácido alfa linolénico; ácido eicosapentaenoico y ácido docahexaenoico (Mateos *et al.*, 1996; Castro-González, 2002; Raes *et al.*, 2004 y Carrero *et al.*, 2005). La inclusión de estos aceites en dietas para ovinos puede incrementar el depósito de AGI en la carne; para evitar la hidrogenación de éstos y los efectos asociados a la fermentación ruminal, la protección puede ser una alternativa apropiada (Gillis *et al.*, 2004; Arenas *et al.*, 2010); sin embargo, el tipo de aceite y su protección puede tener implicaciones en la fermentación de las dietas (Dohme *et al.*, 2000; Arenas *et al.*, 2010). Es posible que el método de protección también tenga relación con este efecto. En la presente investigación se determinó el efecto de la protección de aceite de atún y de linaza, con alginato, NaOH y Ca(OH)₂, y el nivel de inclusión en la digestibilidad y cinética de fermentación *in vitro* de dieta para corderos.

5.4 Materiales y métodos

Tratamientos: Se evaluaron 25 tratamientos que resultaron de combinar a) dos tipos de aceite (atún o de linaza), b) a tres niveles de inclusión (1, 2 y 3%) y c)

cuatro métodos de protección (sin proteger, encapsulado con alginato, saponificación con Ca(OH)₂ y saponificación con NaOH), más un tratamiento sin aceite (2x3x4+1=25). Las dietas fueron isoproteicas e isoenergéticas para corderos en engorda (NRC, 2007; Cuadro 3).

Cuadro 3. Ingredientes de dietas para corderos adicionadas con 0, 1, 2 y 3% de aceite de atún o aceite de linaza.

Ingrediente, %	Dietas			
	0	1%	2%	3%
Maíz rolando	30.0	29.0	28.5	28.0
Sorgo molido	29.0	28.0	28.0	27.0
Rastrojo de maíz	12.0	12.0	12.0	12.0
Alfalfa achicalada	10.0	10.0	10.0	10.0
Pasta de soya	9.0	10.0	9.5	10.0
Melaza	4.0	4.0	4.0	4.0
Gluten	3.0	3.0	3.0	3.0
CaCO ₃	1.0	1.0	1.0	1.0
Premezcla mineral	1.0	1.0	1.0	1.0
Sal	0.5	0.5	0.5	0.5
Urea	0.5	0.5	0.5	0.5
Aceite (atún/linaza) ¹	0.0	1.0	2.0	3.0
Costo ² , \$/kg	4.5	4.7	4.8	5.1

Composición nutritiva estimada: Proteína cruda, 15%; Energía Metabolizable, 2.9 Mcal Kg MS⁻¹; Fibra cruda, 8.5%; Azufre, 0.20%; Calcio, 1.04%; Fósforo, 0.32%; Cloro, 1.67%; Magnesio, 0.32%; Potasio, 0.97%; Sodio 0.36%; Cinc, 74.6 mg kg⁻¹; Cobalto, 0.79 mg kg⁻¹; Cu, 9.40 mg kg⁻¹; Hierro, 143.65 mg kg⁻¹; Manganeso, 76.40 mg kg⁻¹; Selenio, 0.45 mg kg⁻¹; Yodo, 1.22 mg kg⁻¹; vitamina A, 5663.6 UI; vitamina D, 1696.5 UI; vitamina E, 44.9 UI.

¹ Doce dietas contenían aceite de atún y 12 aceite de linaza.

² Costo de materias primas al mes de febrero de 2012.

Fermentación y digestibilidad *in vitro*: la fermentación de las dietas se midió indirectamente, por la técnica de producción de gas (Menke y Steingass, 1988). Se colocaron 0.5 g de sustrato según el tratamiento (Cuadro 5) y 90 mL de inóculo ruminal, en frascos de vidrio de 125 mL, a los que se le adicionó un flujo continuo de CO₂ (gas), y se taparon herméticamente con un tapón de goma y un aro de aluminio. Los frascos fueron incubados en un baño maría a 39 °C y el volumen de gas (mL g⁻¹) se midió a 0, 2, 4, 6, 8, 14, 20, 26, 32, 44, 56, 68, 80 y 92 horas de incubación. Se estimó el volumen máximo (Vm; mL g⁻¹), tasa de fermentación (S; h⁻¹) y fase de retardo (L;h) de la producción de gas, del modelo $V_0 = V_m / (1 + e^{(2-4 \cdot S \cdot (T-L))})$ (Schofield y Pell, 1995) y el procedimiento NLIN (SAS,

2004). También se calculó el volumen fraccional de gas a los intervalos de 0 a 8 ($V_{f_{0-8}}$), 8 a 26 ($V_{f_{8-26}}$) y 26 a 68 ($V_{f_{26-68}}$) horas de incubación. Al término del período de incubación (92 h) la materia seca residual se filtró con papel (Wathman # 4), se secó a 65 °C por 48 h y se le determinó el peso seco para calcular la digestibilidad de la MS (DIVMS).

El inóculo ruminal se obtuvo de ovinos (38 kg PV) con cánula ruminal y alimentados *ad libitum* con una dieta compuesta de 60% de ensilado de maíz y 40% de concentrado. El líquido ruminal se filtró a través de ocho capas de gasa y se mezcló (1:9) con una solución mineral reducida conteniendo 0.45 g de K_2HPO_4 , 0.45 g de KH_2PO_4 , 0.45 g de $(NH_4)_2SO_4$, 0.9 g de NaCl, 0.18 g de $MgSO_4$, y 0.12 g de $CaCl_2 \cdot H_2O$, por litro de solución.

Análisis de datos: se utilizó el procedimiento GLM y la comparación de medias se hizo por contrastes (Cuadro 4) con el programa SAS (2004). El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde Y_{ij} = Variable de respuesta; μ = Media general; T_i = Efecto del *i*-ésimo tratamiento (*i* = 1, 2, 3, ...) y E_{ij} = Error experimental.

Cuadro 4. Contrastes analizados para determinar el efecto del tipo, nivel y técnica de protección de aceites en la fermentación de dietas para corderos.

No.	Indicación	Dietas
1	SA vs SP	Sin aceite vs con aceite sin proteger
2	Linaza SP vs Atún SP	Linaza vs Atún, sin proteger
3	SP vs Na+Ca	Aceite sin proteger vs saponificados
4	Alginato vs Na+Ca	Protegidos con alginato vs saponificados
5	Na vs Ca	Saponificados con, NaOH vs $Ca(OH)_2$
6	SP vs Ca	Aceites sin proteger vs saponificados con $Ca(OH)_2$
7	SA vs Ca	Sin aceite vs saponificados con $Ca(OH)_2$
8	SP vs Na	Aceite sin proteger vs saponificado con NaOH
9	SA vs Na	Sin aceite vs saponificados con NaOH

SA: sin aceite, SP: sin protección, Na: protegido con hidróxido de sodio (NaOH), Ca: protegido con hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$).

5.5 Resultados y discusión

Cinética de fermentación: las variables de fermentación y DIVMS de la dieta no fueron afectados ($P>0.05$) por el tipo de aceite (atún o linaza) suplementado, ni por la saponificación (Contrastes 1, 2, 7 y 9; Cuadro 5), lo cual se atribuyó a que el nivel de aceite usado fue menor al considerado como limitante de la actividad microbiana ruminal (7%; Jenkins, 1993; Doreau y Chilliard, 1997; NRC, 2001). Arenas *et al.* (2010) con un mayor contenido de grasa (8%) encontraron que el volumen de gas producido en 96 h de incubación, se ve afectado por el tipo de aceite (saturado vs insaturado) y la saponificación; la protección de grasas saturadas incrementa la fermentación de la dieta y, por el contrario, la protección de grasas insaturadas la reduce.

La protección del aceite con alginato (Cuadro 4) disminuyó ($P=0.04$) el Vm en comparación con la saponificación con hidróxido de sodio e hidróxido de calcio (293.6 vs 316.0 mL g⁻¹; contraste 4). Se reconoce que los alginatos retienen agua y forman geles a partir de reacciones de intercambio iónico y forman películas, por lo que se considera como agentes espesantes que aumentan la viscosidad del medio y secuestra iones (McHugh, 2003), lo cual puede limitar la actividad de ciertas enzimas microbianas.

La DIVMS de la dieta (Cuadro 5) fue deprimida por la saponificación con NaOH e Ca(OH)₂ ($P=0.014$) respecto al aceite sin protección (73.7 vs 75.9%; contraste 3). Los contrastes 6 y 8 muestran que la disminución de la DIVMS es más significativa cuando se saponifica con NaOH ($P=0.0145$). La saponificación con Ca(OH)₂ sólo mostró una tendencia ($P=0.065$) a reducir la DIVMS. Las sales de Ca de los ácidos grasos pueden disociarse en cierta medida en el rumen (Sukhija y Palmquist, 1990) y liberar los ácidos grasos, éstos pueden interferir con la digestibilidad de la fibra (Bremmer *et al.*, 1998). Además, el sodio libre pudiera tener un efecto tóxico ya que Jami *et al.* (2014) encontraron que la DIVMS del rastrojo de maíz tratado con un NaOH (5%), disminuyó en 3.2% y fue explicado por una posible alteración de las estructuras de pared celular de los microorganismos ruminales causado por el Na⁺.

Cuadro 5. Comportamiento de la fermentación y digestibilidad *in vitro* de aceites de atún y de linaza a tres niveles de inclusión con cuatro métodos de protección.

Tratamientos			Parámetros de fermentación							
Aceite	%	Protec	Vm, mL g ⁻¹	EE	S, h ⁻¹	EE	L, h	EE	DMS, %	EE
SA	0	0	318.2	8.2	0.037	0.0032	4.1	0.59	76.4	1.7
Atún	1	Ca(OH) ₂	331.7	11.6	0.038	0.0022	3.6	0.48	75.2	0.9
Atún	1	Alginato	255.6	13.2	0.038	0.0027	4.3	0.89	74.3	0.6
Atún	1	NaOH	316.4	10.9	0.037	0.0021	3.2	0.91	74.9	2.0
Atún	1	SP	306.7	10.1	0.036	0.0027	2.8	0.36	75.8	2.3
Atún	2	Ca(OH) ₂	332.7	9.5	0.037	0.0029	4.2	0.55	73.4	1.7
Atún	2	Alginato	306.8	10.5	0.035	0.0031	3.7	0.71	75.1	1.2
Atún	2	NaOH	324.5	9.5	0.040	0.0028	3.7	0.76	75.0	2.1
Atún	2	SP	312.3	14.3	0.038	0.0029	3.2	0.58	76.0	2.7
Atún	3	Ca(OH) ₂	324.3	13.7	0.033	0.0022	3.5	0.73	73.2	0.4
Atún	3	Alginato	305.3	8.8	0.034	0.0020	3.6	0.61	73.7	1.7
Atún	3	NaOH	274.7	10.9	0.040	0.0034	3.3	0.45	74.3	2.7
Atún	3	SP	335.4	9.6	0.035	0.0021	3.8	0.68	76.2	2.5
Linaza	1	Ca(OH) ₂	335.1	19.9	0.035	0.0021	3.9	0.55	78.7	0.8
Linaza	1	Alginato	318.6	15.3	0.036	0.0022	3.8	0.57	75.5	1.3
Linaza	1	NaOH	335.3	16.9	0.037	0.0025	4.0	0.67	73.6	1.5
Linaza	1	SP	306.2	14.3	0.035	0.0023	4.1	0.89	77.2	0.9
Linaza	2	Ca(OH) ₂	318.9	14.3	0.035	0.0026	3.4	0.63	72.9	2.7
Linaza	2	Alginato	288.1	11.4	0.035	0.0021	3.9	0.62	74.8	1.2
Linaza	2	NaOH	320.3	6.7	0.034	0.0026	3.8	0.7	71.9	2.2
Linaza	2	SP	318.9	20.7	0.036	0.0034	3.8	0.66	76.1	1.2
Linaza	3	Ca(OH) ₂	293.3	11.8	0.038	0.0024	3.2	1.04	71.0	1.2
Linaza	3	Alginato	287.4	14.4	0.036	0.0018	4.3	0.78	75.2	1.4
Linaza	3	NaOH	284.3	17.8	0.033	0.0019	3.2	0.82	71.2	1.4
Linaza	3	SP	319.7	13.7	0.036	0.0025	4.6	0.68	74.6	1.4
Contrastes			----- Pr > F -----							
1.	SA vs SP		0.905		0.865		0.545		0.800	
2.	Linaza SP vs Atún SP		0.764		0.711		0.097		0.994	
3.	SP vs Ca(OH) ₂ +NaOH		0.929		0.807		0.718		0.014	
4.	Alginato vs Ca(OH) ₂ +NaOH		0.040		0.543		0.421		0.254	
5.	Ca(OH) ₂ vs NaOH		0.082		0.352		0.794		0.567	
6.	SP vs Ca(OH) ₂		0.425		0.799		0.857		0.065	
7.	SA vs Ca(OH) ₂		0.756		0.754		0.483		0.212	
8.	SP vs NaOH		0.448		0.494		0.656		0.015	
9.	SA vs NaOH		0.617		0.845		0.398		0.117	

Protec: método de protección, EE: error estándar, Vm: volumen de gas (mL g⁻¹), S: tasa de fermentación (h⁻¹), L: fase lag (h), DMS: digestibilidad (%), SA: sin aceite, SP: sin protección.

Volumen fraccional de gas: los alimentos contienen tres grupos de carbohidratos fermentables: azúcares y oligosacáridos solubles y rápidamente fermentables (CSA), polisacáridos de reserva (almidón) y de pared (pectina) con tasa de fermentación media y, polisacáridos estructurales de lenta fermentación (Stockes, 1997, Fuente *et al.*, 2009). Los microorganismos ruminales que fermentan estos grupos de carbohidratos pertenecen a los consorcios sacarolíticos, amilolíticos y fibrolíticos (Firkins, 2010). La dinámica y fluctuación poblacional de estos consorcios está determinada por la proporción y digestión-fermentación de los carbohidratos que contenga el alimento ofrecido al rumiante (Firkins, 2010). En este sentido, las poblaciones del consorcio sacarolítico crecen en las primeras horas de fermentación y decrecen conforme se agoten los CSA. En este momento inicia el crecimiento del consorcio amilolítico. El consorcio fibrolítico es, prácticamente, el más lento en desarrollar. De acuerdo con estudios donde se determinó la tasa de fermentación o digestión de carbohidratos (Hall y Weimer, 2007; Fuente *et al.*, 2009 y Fluck *et al.*, 2013), en esta investigación se consideró que la mayor parte de los CSA son fermentados en las primeras 8 h, los carbohidratos de reserva se fermentan preferentemente entre las 8 y 26 h, mientras los carbohidratos estructurales son fermentados entre las 26 y 68 h de incubación *in vitro* (Figura 1) por lo que se evaluó la producción de gas a las fracciones de tiempo indicadas: Vf_{0-8} , Vf_{8-26} y Vf_{26-68} (Cuadro 6). En la Figura 1 se muestra la producción fraccional de gas de fermentación de los tratamientos testigo, aceite de linaza al 1 y 3% saponificado con NaOH y, aceite de atún al 3% saponificado con NaOH. La tendencia muestra que, en general, las dietas tuvieron escasa cantidad de CSA (Vf_{0-8}) y de pared (Vf_{26-68}) fermentables, y una proporción mayor de carbohidratos de reserva fermentables (Vf_{8-26}). Los tratamientos alcanzaron su producción máxima de gas dentro del intervalo definido para los carbohidratos de reserva (14-20 h). Lo cual es de esperarse dado que las dietas son concentradas en energía y contienen entre 55 y 59% de grano de maíz-sorgo. La Figura 1 también muestra el efecto del tratamiento en el volumen de gas dentro de cada fracción (Vf_{0-8} , Vf_{8-26} y Vf_{26-68}).

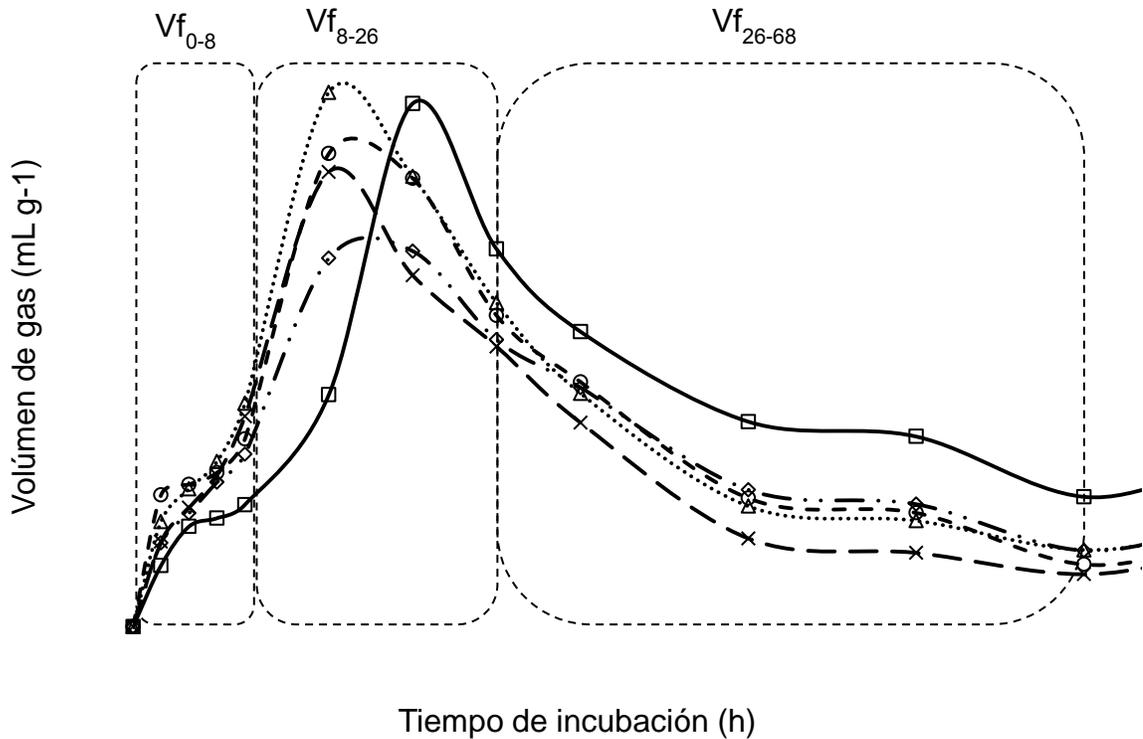


Figura 1. Producción de gas *in vitro* de 0 a 8 h (Vf_{0-8}), 8 a 26 (Vf_{8-26}) y 26 a 68 (Vf_{26-68}) horas de incubación, por la fermentación de dietas para corderos suplementadas con dos tipos de aceite y dos métodos de protección. (-O-) 3% de aceite de atún y linaza (Δ), 1% de aceite de linaza (\diamond) saponificados con NaOH, y sin aceite (\square).

Los contrastes mostraron que el tipo de aceite sin protección (Contraste 2) y el tipo de protección (Contraste 4) afectaron ($P < 0.05$) el Vf_{0-8} (Cuadro 6). Arenas *et al.* (2010) encontraron que la producción de gas de 0 a 8 h no fue afectada ($p < 0.05$) por el tipo de grasa (saturada vs insaturada) ni por la saponificación.

Cuadro 6. Comportamiento de la acumulación de gas a distintos tiempos en la fermentación *in vitro* de aceite de atún y linaza a tres niveles de inclusión con cuatro métodos de protección.

Tratamientos			Volumen fraccional de gas, mL g ⁻¹					
Aceite	%	Protección	V ₀₋₈	EE	V ₈₋₂₆	EE	V ₂₆₋₆₈	EE
Testigo	0	0	67.3	5.9	154.7	1.9	82.0	11.5
Linaza	1	Ca(OH) ₂	49.4	1.9	142.8	9.2	103.4	5.6
Linaza	2	Alginato	68.4	5.2	154.0	4.7	80.2	17.3
Linaza	3	NaOH	52.6	2.9	159.7	4.6	108.0	1.9
Atún	1	SP	78.6	4.9	149.7	3.1	73.0	9.9
Atún	2	Ca(OH) ₂	77.6	8.6	155.4	7.6	69.2	12.0
Atún	3	Alginato	75.8	7.3	161.1	3.4	85.7	14.0
Linaza	1	NaOH	69.1	3.5	155.5	4.5	79.3	10.5
Linaza	2	SP	61.7	5.1	137.9	4.3	75.4	9.4
Linaza	3	Ca(OH) ₂	58.3	5.6	141.9	4.1	74.3	10.4
Atún	1	Alginato	63.0	6.7	150.8	2.4	67.8	11.73
Atún	2	NaOH	69.1	7.4	141.1	4.8	81.0	12.5
Atún	3	SP	67.1	5.5	142.3	3.8	80.2	9.5
Linaza	1	Ca(OH) ₂	70.0	4.2	159.0	7.4	88.7	12.8
Linaza	2	Alginato	71.1	5.8	153.0	8.5	79.6	11.4
Linaza	3	NaOH	73.6	9.9	141.4	10.9	62.9	7.1
Atún	1	SP	76.7	5.7	170.3	4.2	72.1	10.5
Atún	2	Ca(OH) ₂	70.8	8.8	166.1	9.6	79.4	9.7
Atún	3	Alginato	66.7	6.4	152.7	5.2	84.2	13.5
Linaza	1	NaOH	73.8	6.3	165.7	5.4	86.0	13.6
Linaza	2	SP	69.8	7.3	146.5	3.7	86.2	11.5
Linaza	3	Ca(OH) ₂	64.8	5.5	130.0	14.5	72.5	8.2
Atún	1	Alginato	77.1	10.3	150.8	7.6	74.1	10.7
Atún	2	NaOH	79.6	10.7	165.0	7.4	67.7	11.1
Atún	3	SP	71.3	6.7	136.9	7.5	52.8	8.2
Contrastes			----- P -----					
1. Testigo vs SP			0.972		0.895		0.698	
2. Linaza SP vs Atún SP			0.002		0.552		0.019	
3. SP vs CaOH + NaOH			0.135		0.840		0.045	
4. Alginato vs CaOH+NaOH			0.029		0.016		0.884	
5. CaOH vs NaOH			0.747		0.043		0.469	
6. SP vs CaOH			0.258		0.399		0.170	
7. Testigo vs CaOH			0.565		0.747		0.725	
8. SP vs NaOH			0.143		0.231		0.036	
9. Testigo vs NaOH			0.453		0.440		0.457	

V₀₋₈: volumen fraccional de gas de 0 a ocho horas, V₈₋₂₆: volumen fraccional de gas de ocho a 26 horas, V₂₆₋₆₈: volumen fraccional de gas de 26 a 68 horas. EE: error estándar, SP: sin protección.

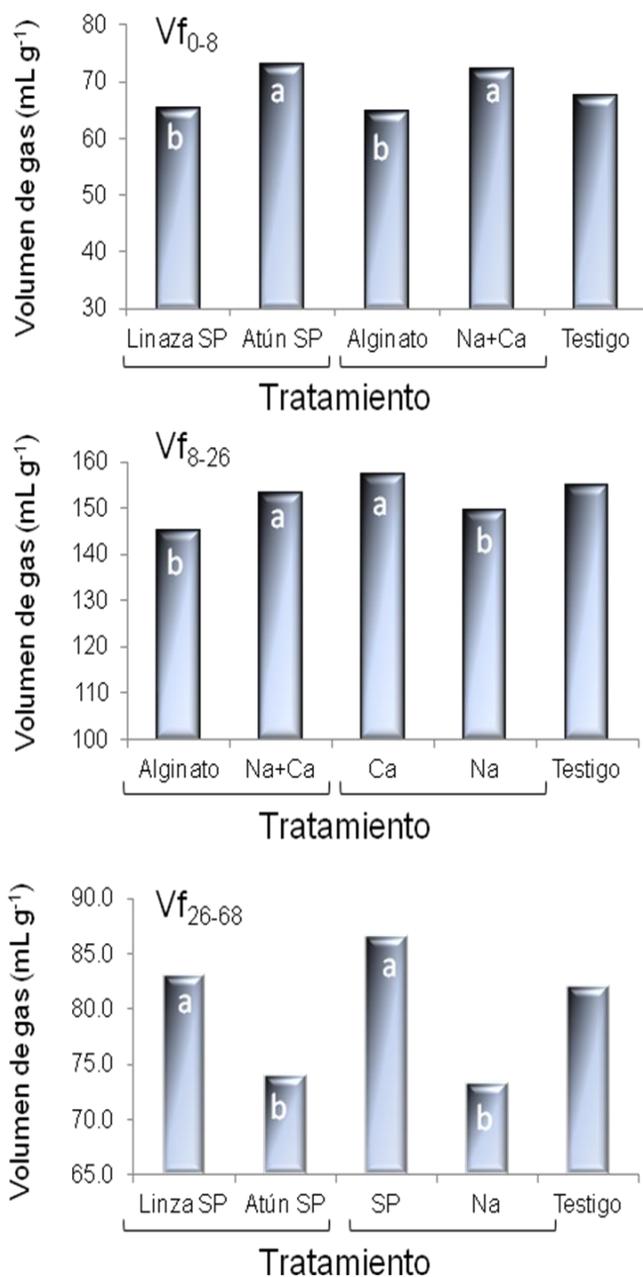


Figura 2. Producción de gas de fermentación *in vitro* de dietas para corderos, con 3% de aceite de atún o linaza, sin protección (SP) o protegido con alginato, NaOH (Na), Ca(OH)₂ (Ca) o sin aceite (Testigo).

Vf₀₋₈, 0 a 8 h; Vf₈₋₂₆, 8 a 26; Vf₂₆₋₆₈, 26 a 68 horas de incubación.

^{a,b}Diferentes entre pares contrastados (P<0.05)

y la saponificación con NaOH (Contrastes 2 y 8).

El aceite de linaza redujo 11.5% la producción de gas de la fermentación de CSA, respecto al aceite de atún (Figura 2). La protección de aceite con alginato también causó una reducción de 11.4% del Vf₀₋₈ de fermentación de las dietas, en comparación a la saponificación con NaOH o Ca(OH)₂ (Cuadro 6, Figura 2). Vf₈₋₂₆ fue afectado (P<0.05) por la protección con alginato y la saponificación (Cuadro 6, Contrastes 4 y 5). El aceite protegido con alginato causó una producción de gas 5.6% menor a la saponificación con NaOH y Ca(OH)₂. A la vez, el Vf₈₋₂₆ es 5.3% menor con aceite saponificado con NaOH respecto a Ca(OH)₂ (Figura 2).

El Vf₂₆₋₆₈, correspondiente al gas producido por la fermentación de polisacáridos estructurales, fue afectada (P<0.05) por el tipo de aceite

Contrario a lo encontrado para el $V_{f_{0-8}}$, el aceite de linaza causó un 12% más de $V_{f_{26-68}}$ de gas que el aceite de atún, en tanto que las dietas con aceite saponificado con NaOH produjeron 18.2% menos gas que las dietas con aceite sin proteger (Figura 2; Cuadro 6).

Se ha demostrado que las grasas y aceites tienen un efecto selectivo en la actividad y población microbiana del rumen. Hristov *et al.* (2004) sugieren combinar AG-insaturados de cadena larga con AG-saturados de cadena media en dietas altas en grano, para reducir la población de protozoarios y la utilización de amonio ruminal; aunque también afectan la actividad xilanásica y amilolítica. De igual forma, Delgado *et al.* (2013) y Machmüller *et al.* (2000) encontraron que las dietas suplementadas con aceite de coco o de almendra disminuyen la producción de metano.

Los aceites fueron mantenidos en un sistema semicerrado *in vitro* por 92 h de incubación a 39°C y esto, posiblemente, favoreció la disociación parcial de las sales de calcio y sodio de los aceites saponificados (Sukhija y Palmquist, 1990), lo cual permitió observar el efecto del tipo de aceite en la fermentación de las tres fracciones de carbohidratos del alimento. Estas investigaciones deben corroborarse en estudios *in situ* o *in vivo*, tal como Machmüller *et al.* (2000) confirmaron la reducción de metano por efecto del aceite de coco encontrado en una investigación previa *in vitro* con el sistema RUSITEC (Machmüller *et al.*, 1998).

5.6 Conclusiones

La cinética de fermentación *in vitro* (V_m , S y L) de dietas para ovinos no fue afectada por la inclusión de aceite de atún o de linaza en una proporción de 3% o menor, ni por la protección por saponificación con $\text{Ca}(\text{OH})_2$. No obstante, la fermentación de las fracciones de rápida, media y lenta fermentación, del alimento fueron afectadas de manera diferente en función de tipo de aceite y el método de protección. Esto muestra que tanto el tipo de aceite y de protección modifican la actividad ruminal y pueden usarse para manipular la actividad de

consorcios microbianos específicos. Dado que esta prueba fue *in vitro* será conveniente corroborar estos resultados *in situ* e *in vivo*, evaluando niveles más altos de aceite dado que en estas condiciones la tasa de pasaje y de dilución reducen su permanencia y concentración pospandrial en rumen.

5.7 Agradecimientos

Agradecemos la colaboración del Ingeniero José Manuel Zuleta Ávila representante de la empresa Zuavit. S.A. DE C.V. y a la Química María Guadalupe Estrada Muñoz por su apoyo en el proceso de protección de los aceites con hidróxido de calcio.

5.8 Literatura citada

- Arenas F., A., R. Noguera R., y L. Restrepo R. 2010. Efecto de diferentes tipos de grasa en dietas para rumiantes sobre la cinética de degradación y fermentación de la materia seca *in vitro*. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 23: 55-64.
- Ávila, C. D., E. J. De Peters, H. Pérez-Monti, S. J. Taylor, and R. A. Zinn. 2000. Influences of saturation ratio of supplemental dietary fat on digestion and milk yield of dairy cows. Journal of Dairy Science 83: 1505-1519.
- Bauman, D. E., and A. L. Lock. 2006. Concepts in lipid digestion and metabolism in dairy cows. Tri-State Dairy Nutrition Conference. pp: 1-14.
- Block, B. J., D. L. Harmon, R. T. Brandt, and J. E. Schneider. 1991. Fat source and calcium level effects on finishing steer performance, digestion and metabolism. Journal of Animal Science 69: 2211-2224.
- Bremmer, D. R., L. D. Ruppert, J. H. Clark, and J. K. Drackley. 1998. Effects of chain length and unsaturation of fatty acid mixtures infused into the abomasum of lactating dairy cows. Journal of Animal Science 81: 176-188.
- Carrero J., J., E. Martín-Bautista, L. Baró, J. Fonollá, J. Jiménez, J. J. Boza, y E. López-Huertas. 2005. Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. Nutrición Hospitalaria 20: 63-69.
- Castro-González, M. I. 2002. Ácidos grasos omega 3: beneficios y fuentes. Interciencia 2: 128-136.
- Church, D. C. 1988. El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición. Editorial Acriba. Zaragoza, España. 641 p.
- Delgado D., C., R. González, J. Galindo L., E. Dihigo, J. Cairo, y M. Almeida. 2013. Efecto del aceite de coco en el consumo, digestión de nutrientes y

- producción de metano en ovinos alimentados con forraje y concentrado
Revista Cubana de Ciencia Agrícola 47: 381-384.
- Dohme, F., A. Machmüller, A. Wasserfallen, and M. Kreuzer. 2000. Comparative efficiency of various fats rich in medium-chain fatty acids to suppress ruminal methanogenesis as measured with RUSITEC. *Canadian Journal of Animal Science* 80: 473-484.
- Doreau, M., and Y. Chilliard. 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British Journal of Nutrition* 78: S15-S35.
- Elliott, J. P., J. K. Drackley, A. D. Beaulieu, C. G. Aldrich, and N. R. Merchen. 1999. Effects of saturation and esterification of fat sources on digestion site and extent of digestion in steers: digestion of fatty acids, triglycerides and energy. *Journal of Animal Science* 77: 1919-1929.
- Firkins, J. L. 2010. Reconsidering rumen microbial consortia to enhance feed efficiency and reduce environmental impact of ruminant livestock production systems. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 445-457.
- Fluck, A. C., G. V. Kozloski, A. A. Martins, M. P. Mezzomo, F. Zanferari, and S. Stefanello. 2013. Relationship between chemical components, bacterial adherence and *in vitro* fermentation of tropical forage legumes. *Ciência e Agrotecnologia* 37: 457-464.
- Fuente, G. de la, A. Belanche and M. Fondevila. 2009. Estudio *in vitro* de la fermentación ruminal de carbohidratos en cabra montés. *Archivos de Zootecnia* 58: 357-362.
- Gillis, M. H., S. K. Duckett, J. R. Sackmann. 2004. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle. *Journal of Animal Science* 82: 1419-1427.
- Hall, M. B., and P. J. Weimer. 2007. Sucrose concentration alters fermentation kinetics, products, and carbon fates during *in vitro* fermentation with mixed ruminal microbes. *Journal of Animal Science* 85: 1467-1478.
- Hristov, A. N., M. Ivan, and T. A. McAllister. 2004. *In vitro* effects of individual fatty acids on protozoal numbers and on fermentation products in ruminal fluid from cattle fed a high-concentrate, barley-based diet. *Journal of Animal Science* 82: 2693-2704.
- Jami, E., N. Shterzer, E. Yosef, M. Nikbachat, J. Miron, and I. Mizrahi. 2014. Effects of including NaOH-treated corn straw as a substitute for wheat hay in the ration of lactating cows on performance, digestibility, and rumen microbial profile. *Journal of Dairy Science* 97: 1623-1633.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science* 76: 3851-3863.

- Kim, Y. K., D. J. Schingoethe, D. P. Casper, and F. C. Ludens. 1993. Supplemental dietary fat from extruded soybeans and calcium soaps of fatty acids for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76: 176-204.
- Machmüller, A., D. A. Ossowski, and M. Kreuz. 2000. Comparative evaluation of the effects of coconut oil, oilseeds and crystalline fat on methane release, digestion and energy balance in lambs. *Animal Feed Science and Technology* 85: 41-60.
- Machmüller, A., D. A. Ossowski, M. Wanner, and M. Kreuzer. 1998. Potential of various fatty feeds to reduce methane release from rumen fermentation *in vitro* (Rusitec). *Animal Feed Science Technology* 71:117-130.
- Mateos, G. G., P. G. Rebollar y P. Medel. 1996. Utilización de grasas y productos lipídicos en alimentación animal: grasas puras y mezclas. *In: XII Curso de Especialización FEDNA. Universidad Politécnica de Madrid, España.*
- McDonald, P., R. A. Edwards, and J. F. D. Greenhalgh. 1988. *Nutrición Animal. Cuarta edición. Editorial Acribia. 555 p.*
- McHugh, J. D. 2003. A guide to the seaweed industry. [http:// www.fao.org/docrep/006/y4765e/y4765e00. HTM](http://www.fao.org/docrep/006/y4765e/y4765e00.htm). Consultada el 15 de diciembre de 2013.
- Menke K. H., and H. Steingass. 1998. Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development* 28: 7-55.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle. The National Academies Press, Washington, D. C. 381 p.*
- NRC (National Research Council). 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. The National Academies Press, Washington, D. C. 345 p.*
- Raes, K., S. De Smet, and D. Demeyer. 2004. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. *Animal Feed Science and Technology* 113: 199-221.
- SAS. 2004. *SAS/STAT User's guide. (Release 9.1) SAS Publishing, Cary (NC). 1-7: 5180.*
- Schofield, P., and A. N. Pell. 1995. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes y grasses. *Journal of Animal Science* 73: 3455-3463.
- Stokes, S. R. 1997. Balancing carbohydrates for optimal rumen function and animal health. <http://www.wcds.ca/proc/1997/>. Consultado el 27 de marzo de 2014.
- Sukhija, P. S., and D. L. Palmquist. 1990. Dissociation of calcium soaps of long-chain fatty acids in rumen fluid. *Journal of Dairy Science* 73: 1784-1787.

- Toral, P. G., P. Frutos, G. Hervás, P. Gómez-Cortés, M. Juárez, and M. A. De La fuente. 2010. Changes in milk fatty acid profile and animal performance in response to fish oil supplementation, alone or in combination with sunflower oil, in dairy ewes. *Journal of Dairy Science* 93: 1604-1615.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *Journal of Animal Science* 79: 11-17.

6. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON ACEITES PROTEGIDOS

6.1 Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de dietas suplementadas con aceites protegidos por saponificación con Ca(OH)_2 , en el comportamiento productivo de corderos, se formularon dietas con aceite de linaza (L) o de atún (A) a 1, 2, y 3%, más una dieta testigo sin aceite. Se utilizaron 42 corderos de lana (seis por dieta) en un diseño completamente al azar, a los que se les evaluó el consumo de alimento, la ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), peso final (PF), rendimiento de la canal caliente (RCC), rendimiento de la canal fría (RCF) y grosor de grasa dorsal (GD). La prueba duró 60 días. Las medias ajustadas a peso vivo inicial de los tratamientos se compararon usando la prueba de t. El consumo de alimento promedio fue de 1.4 kg sin diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos. Los corderos alimentados con A al 2% presentaron mayor ($P<0.05$) GDP y mejor ($P<0.05$) CA que aquellos que recibieron L al 2%. El PF promedio fue de 45.7 ± 1.84 kg, encontrando diferencia significativa entre A al 1% (42 kg) vs A al 2% (49 kg). El GD fue diferente ($P<0.05$) para los corderos que consumieron L y A al 2% en comparación a los que recibieron A al 3%. No se encontraron diferencias ($P>0.05$) en RCC y RCF. La adición de aceites de atún y linaza afecta el comportamiento productivo y la acumulación de grasa en corderos de lana.

Palabras clave: aceite, atún, linaza, consumo, grasa dorsal, rendimiento de la canal.

PRODUCTIVE PERFORMANCE OF LAMBS SUPPLEMENTED WITH PROTECTED OIL

6.2 Abstract

With the objective to evaluate the effect of diets supplemented with protected oil, by saponification with Ca(OH)_2 , on productive lamb performance, diets with linseed oil (L) or tuna (A) were formulated with 1, 2, and 3%, plus a control diet without oil. Forty-two wooled lambs (six per diet) were used in a completely randomized design. Feed intake, daily weight gain (DWG), feed conversion (FC), final weight (FW), hot carcass yield (HCY), cold carcass yield (CCY) and dorsal fat thickness (DF) were evaluated. The test lasted 60 days. The adjusted means to initial weight of treatments were compared using the t test. Average feed intake was 1.4 kg with no different ($P>0.05$) between treatments. The lambs fed with A 2% presented higher ($P <0.05$) DWG and better ($P <0.05$) FC than those fed L 2%. The FW average was 45.7 ± 1.84 kg, finding significant differences between A with 1% (42 kg) vs A with 2% (49 kg). The DF was different ($P <0.05$) for lambs which consumed L and A with 2% compared to those that received A with 3%. No differences ($P >0.05$) in HCY and CCY were found. The addition of linseed and tuna oil affects growth performance and fat accumulation in wooled lambs.

Key words: oil, tuna, linseed, intake, fat dorsal, yield of the carcass.

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Gemma Razo Herrera
Advisor: MC. Carlos Sánchez Del Real

6.3 Introducción

La carne de ovino en México generalmente se consume en barbacoa, birria, mixiotes y cortes finos. Los consumidores han identificado que la grasa presente en estos productos puede ser perjudicial para la salud por su alto contenido de ácidos grasos saturados. McGuire y McGuire, (2000) y Turpein *et al.* (2006), publicaron que un manejo estratégico en la alimentación del ovino, propicia aumento de ácidos grasos insaturados en los productos, característica que tiene efectos benéficos para la salud humana. Pariza (2001), observó que el consumo de ácidos grasos insaturados reduce la acumulación de grasa corporal de manera significativa en humanos.

Belury (2002) indica que los ácidos grasos insaturados están presentes de forma natural en los aceites de soya, pescado, algas y linaza, se ha demostrado su eficacia en la prevención de problemas cardiovasculares (efecto antiaterogénico y antitrombótico) y en la reducción del crecimiento de tumores cancerígenos de distintos tipos en estómago, próstata, colon y mama.

Es necesario realizar estudios para cambiar el perfil de ácidos grasos que contiene la grasa de los productos cárnicos y proporcionar a la sociedad productos de consumo que beneficien la salud humana. Con el fin de obtener concentraciones altas de ácidos grasos insaturados en la carne de ovino, se planteó evaluar el efecto de la adición de aceites protegidos de linaza y atún en la dieta como fuentes ricas de ácidos grasos insaturados, en el comportamiento productivo, rendimiento de la canal y grasa dorsal en corderos de lana.

6.4 Materiales y métodos

La prueba de comportamiento productivo se efectuó en Texcoco, Estado de México en instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, con una duración de 60 días. Se seleccionaron 42 corderos de lana, raza indistinta, provenientes del Altiplano Mexicano, con un peso vivo medio de 31.1 ± 1.15 kg,

los cuales se distribuyeron en siete tratamientos de seis corderos cada uno, se alojaron dos corderos por corral según diseño completamente al azar.

Los tratamientos fueron 0% de aceite (control), aceite de linaza a 1% (L1), aceite de linaza a 2% (L2), aceite de linaza a 3% (L3), aceite de atún a 1% (A1), aceite de atún a 2% (A2) y aceite de atún a 3% (A3). Ambos aceites fueron protegidos de la acción microbiana ruminal por saponificación con $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Las variables medidas fueron consumo de alimento (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), peso final (PF), rendimiento de la canal caliente (RCC), rendimiento de la canal fría (RCF) y grosor de grasa dorsal (GD). Cada corral se consideró como una réplica para la determinación de CMS y CA. Para las variables de PF, GDP, RCC, RCF y GD se consideró a cada cordero como la unidad experimental.

Los corderos disponían de agua y alimento a libre acceso, ofreciendo el 60% a las 07:00 h y 40 % a las 15:00 h. Durante los primeros doce días los corderos recibieron una dieta de adaptación con el objetivo de modificar su microflora ruminal y que ésta fuera afín para el consumo de granos y al tratamiento asignado. Se pesaron sucesivamente cada siete días.

Las dietas se elaboraron con base en los requerimientos nutricionales de ovinos reportados por el NRC (2007), tomando en cuenta el aporte energético de aceite de atún y aceite de linaza en los diferentes porcentajes de inclusión (Cuadro 7). El consumo se estimó al restar del alimento ofrecido el rechazado cada 24 horas. Para calcular la ganancia diaria de peso promedio se restó el peso vivo final al inicial y fue dividido entre el número de días en que se llevó el pesaje. La conversión alimenticia se estimó al dividir el consumo entre la ganancia de peso en determinado periodo y se reportó en kg de alimento por kg de ganancia. El rendimiento de la canal caliente, fue estimada al dividir el peso de la canal caliente sobre el peso al sacrificio, multiplicado por 100, mientras que para rendimiento de la canal fría solo se sustituyó el peso de la canal caliente por el peso de la canal fría transcurridas 24 horas en refrigeración. El grosor de la grasa dorsal se midió con un vernier manual a las 24 h post

mórtem, para ello se realizó una incisión perpendicular a 4 cm del borde posterior de la doceava costilla. La medición se realizó en el punto de intersección de la incisión (Cañequo y Sañudo, 2000).

Cuadro 7. Composición de dietas experimentales.

Ingrediente, %	Tratamientos						
	Control	L1	L2	L3	A1	A2	A3
Maíz rolado	30.0	29.0	28.5	28.0	29.0	28.5	28.0
Sorgo molido	29.0	28.0	28.0	27.0	28.0	28.0	27.0
Rastrojo de maíz	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Alfalfa achicalada	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Pasta de soya	9.0	10.0	9.5	10.0	10.0	9.5	10.0
Melaza	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Gluten	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
CaCO ₃	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Premezcla mineral	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Sal	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Urea	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Aceite de linaza	0.0	1.0	2.0	3.0	0.0	0.0	0.0
Aceite de atún	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0
	100	100	100	100	100	100	100
Costo ¹ , \$/kg	4.5	4.7	4.8	5.1	4.7	4.8	5.1

Composición nutritiva estimada: Proteína cruda, 15%; Energía Metabolizable, 2.9 Mcal Kg MS⁻¹; Fibra cruda, 8.5%; Azufre, 0.20%; Calcio, 1.04%; Fósforo, 0.32%; Cloro, 1.67%; Magnesio, 0.32%; Potasio, 0.97%; Sodio 0.36%; Cinc, 74.6 mg kg⁻¹; Cobalto, 0.79 mg kg⁻¹; Cu, 9.40 mg kg⁻¹; Hierro, 143.65 mg kg⁻¹; Manganeseo, 76.40 mg kg⁻¹; Selenio, 0.45 mg kg⁻¹; Yodo, 1.22 mg kg⁻¹; vitamina A, 5663.6 UI; vitamina D, 1696.5 UI; vitamina E, 44.9 UI.

¹Costo de materias primas al mes de febrero de 2012.

Para el análisis de datos se utilizó el procedimiento GLM y las medias se compararon entre sí por la prueba de t de las medias ajustadas con el programa SAS (2004). El peso inicial se utilizó como covariable. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta X_{ij} + E_{ij}$$

Dónde Y_{ij} = Variable de respuesta; μ = Media general; T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (i = 1, 2, 3, ...); β = Coeficiente de la covariable; X_{ij} = Peso vivo inicial y E_{ij} = Error experimental.

6.5 Resultados y discusión

El consumo, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y peso final, se muestran en el Cuadro 8. El consumo promedio fue de 1.4 kg cordero⁻¹ día⁻¹ sin diferencia entre tratamientos ($P>0.05$). La GDP y CA en los corderos alimentados con 2% de aceite de linaza fue de 277 g y 5.0 kg de alimento kg de ganancia de peso⁻¹; respectivamente, diferentes ($P<0.05$) a los registrados con 2% de aceite de atún (370 g y 4.2 kg de alimento kg de ganancia de peso⁻¹; respectivamente). Boles *et al.* (2005) trabajaron con corderos de lana (Targhee*Rambouillet) y obtuvieron GDP de 160 y 210 g y conversión alimenticia de 6.2 y 4.7 kg de alimento kg de ganancia de peso⁻¹ al suplementar aceite de girasol al 3 y 6%; respectivamente. Wynn *et al.* (2006) reportaron ganancias de 200 g día⁻¹ al adicionar ácido linoleico conjugado (CLA) protegido en corderos Charolais*Mule; mientras, Cooper *et al.* (2004) reportaron GDP de 250 g día⁻¹ en corderos Suffolk suplementando con linaza, aceite de pescado y linaza+soya protegida, con conversión alimenticia de 5 kg de alimento kg de ganancia de peso⁻¹ y peso vivo al sacrificio de 40 Kg. Kim *et al.* (2007) al trabajar con corderos Katadhin*Dorper suplementados con ácidos grasos insaturados reportaron GDP de 230 g día⁻¹ con conversión alimenticia de 4.3 kg de alimento kg de ganancia de peso⁻¹, finalmente Cortés *et al.* (2007) encontraron que la ganancia diaria de peso fue de 207 g día⁻¹. El peso final (Cuadro 8) más bajo ($P<0.05$) se registró para los corderos alimentados con la dieta de atún al 1% (41 kg) y el más alto para los alimentados con la dieta de atún al 2% (48 kg).

En las variables de rendimiento de la canal caliente y rendimiento de la canal fría (Cuadro 9), no se encontraron diferencias ($P>0.05$). Para la GD se encontraron diferencias significativas entre los cordero que recibieron la dieta con 2% de aceite de linaza en comparación con aquellos que consumieron dietas con 3% de aceite de atún (Cuadro 9).

Cuadro 8. Efecto en el comportamiento productivo² al incluir dos tipos de aceite y tres niveles en dietas para ovinos de lana.

TA	Ni	PVi (kg)		PVf (kg)		GDP (g)		CMS (kg)		CMS/GDP	
Control		31.80 ±	1.24 abc	46.10 ±	1.88 ab	320 ±	0.03 ab	1.47 ±	0.10 a	4.61 ±	0.27 ab
Linaza	1	30.75 ±	1.14 abc	45.71 ±	1.88 ab	330 ±	0.02 ab	1.52 ±	0.10 a	5.09 ±	0.27 ab
Linaza	2	29.25 ±	1.14 ab	46.80 ±	1.96 ab	277 ±	0.03 a	1.32 ±	0.11 a	5.19 ±	0.29 a
Linaza	3	29.91 ±	1.14 ab	44.86 ±	1.71 ab	306 ±	0.03 ab	1.31 ±	0.11 a	4.34 ±	0.27 ab
Atún	1	31.83 ±	1.14 abc	41.76 ±	1.91 a	288 ±	0.02 ab	1.29 ±	0.11 a	4.91 ±	0.27 ab
Atún	2	30.50 ±	1.14 abc	48.80 ±	1.89 b	370 ±	0.02 b	1.50 ±	0.11 a	4.27 ±	0.27 b
Atún	3	33.66 ±	1.14 c	45.96 ±	1.62 ab	304 ±	0.03 ab	1.38 ±	0.12 a	4.94 ±	0.30 ab

²Medias sin una letra en común, dentro de columna, son diferentes (P<0.05).

TA: tipo de aceite, Ni: nivel de aceite, PVi: peso vivo inicial, PVf: peso vivo final, GDP: ganancia diaria de peso, CMS: consumo de materia seca, CMS/GDP: conversión alimenticia.

Cuadro 9. Efecto en el rendimiento comercial de la canal y grasa dorsal² al utilizar dos tipos de aceites con tres niveles de inclusión en dietas para engorda de ovinos de lana.

TA	Ni	RCC (%)		RCF (%)		GD (mm)	
Control		44.0 ±	6.00	42.0 ±	2.19	2.5 ±	0.45 abc
Linaza	1	45.4 ±	5.96	43.0 ±	2.10	2.4 ±	0.45 abc
Linaza	2	43.9 ±	5.25	41.5 ±	1.51	1.7 ±	0.40 ab
Linaza	3	45.3 ±	6.01	43.5 ±	1.73	2.2 ±	0.45 abc
Atún	1	43.2 ±	5.32	43.0 ±	1.53	2.1 ±	0.40 abc
Atún	2	45.2 ±	5.26	43.0 ±	1.52	1.8 ±	0.40 ab
Atún	3	46.6 ±	5.32	43.7 ±	1.34	3.1 ±	0.32 c

²Medias sin una letra en común, dentro de columna, son diferentes (P<0.05).

TA: tipo de aceite, Ni: nivel de aceite, RCC: rendimiento de la canal caliente, RCF: rendimiento de la canal fría, GD: grosor de grasa dorsal.

6.6 Conclusiones

La inclusión de aceite de linaza y atún afecta el comportamiento productivo de corderos de lana en finalización. Al suplementar aceite de atún al 2%, se mejora la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia, además de reducir la grasa dorsal en la canal de ovinos.

6.7 Literatura citada

- Belury, M. A. 2002. Inhibition of carcinogenesis by conjugated linoleic acid: potential mechanisms of action. *Journal of Nutrition* 132: 2995-2998.
- Boles, J. A., R. W. Koot, P. G. Hatfield, J. W. Bergman, and C. R. Flynn. 2005. Supplemental safflower oil affects the fatty acid profile, including conjugated linoleic acid, of lamb. *Journal of Animal Science* 83: 2175-2181.
- Cañeque V., y C. Sañudo. 2000. Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. 255 p.
- Cooper, S. L., L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson, K. G. Hallett, M. Enser, and J. D. Wood. 2004. Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid content of muscle and adipose tissue in lambs. *Journal of Animal Science* 82:1461-1470.
- Cortés D., E., P. A. Hernández M., C. Del Real S., L. Román S. 2007. Finalización de corderos con diferente estrategia de ofrecimiento de una misma dieta. V Congreso de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. Mendoza, Argentina. pp: 4.
- Kim, S. C., A. T. Adesogan, L. Badinga, and C. R. Staples. 2007. Effects of dietary n-6:n-3 fatty acid ratio on feed intake, digestibility, and fatty acid profiles of the ruminal contents, liver, and muscle of growing lambs. *Journal of Animal Science* 85:706-716.
- McGuire, M. A., and M. K. McGuire. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA): a ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *Journal of Animal Science* 77: 1-8.
- NRC (National Research Council). 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. The National Academies Press, Washington, D. C. 345 p.
- Pariza, M. W., Y. Park, and M. E. Cook. 2001. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Progress in Lipid Research* 40: 283-298.
- SAS. 2004. SAS/STAT User's guide. (Release 9.1) SAS Publishing, Cary (NC). 1-7:5180.

- Turpein, A., S. Barlund, R. Freese, P. Lawrence, and J. Thomas. 2006. Effects of conjugated linoleic acid on linoleic and linolenic acid metabolism in man. *British Journal of nutrition* 95:727-733.
- Wynn, R. J., T. R. Daniel, C. L. Flux, J. Craigon, A. M. Salter, and P. J. Buttery. 2006. Effect of feeding rumen-protected conjugated linoleic acid on carcass characteristics and fatty acid composition of sheep tissues. *Journal of Animal Science* 84: 3440-3450.

7. ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE OVINOS ALIMENTADOS CON DIETAS SUPLEMENTADAS CON ACEITE PROTEGIDO

7.1 Resumen

Se investigó el efecto del nivel y tipo de aceite protegido en la concentración de ácidos grasos en músculo *longissimus dorsi*, pierna y espaldilla de ovinos. Se formuló una dieta base sin aceite (T), a la cual se le adicionó aceite de atún (A) o aceite de linaza (L) protegidos con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, a tres niveles (1, 2 y 3%). Se determinó la cantidad de grasa, contenido de ácidos grasos saturados (mirístico, palmítico y esteárico) e insaturados (oleico, linoleico, linolénico y araquidónico) y se determinó la relación n-6/n-3. Se usaron 35 corderos asignados en un diseño completamente al azar y la prueba de Tukey para comparación de medias. La pierna tuvo el menor contenido de grasa ($P < 0.05$; 10.51%) en comparación con espaldilla (13.47%). La inclusión de L incrementó el contenido de mirístico de la espaldilla en 19%, con respecto al aceite de A. La comparación respecto al testigo (T) mostró que en el músculo *longissimus dorsi* el ácido palmítico fue menor ($P < 0.05$) con A al 2% (21.54% vs 24.49%) y mayor en espaldilla con L al 3% (26.87% vs 22.23%); el ácido esteárico fue mayor ($P < 0.05$) en pierna con A al 1% y A al 3% (2.73% y 2.52% vs 0.79%); el ácido linoleico incrementó ($P < 0.05$) en pierna con A al 3% (6.89% vs 2.1%). El contenido intramuscular de ácido linolénico no presentó diferencias entre tratamientos. El ácido araquidónico en pierna presentó diferencia entre L al 1% (1.02%) vs A al 1% (0.38%). En cuanto a la relación de n-6/n-3 en el músculo *longissimus dorsi*, fue mejor ($P < 0.05$) para las dietas que contenían L y A al 3% (0.68 y 0.78) respecto A al 1% (5.69). Suplementar dietas para corderos con aceite de atún o linaza protegidos en un rango de 1 a 3% no mejora el nivel de ácido linolénico en lomo, pierna o espaldilla.

Palabras clave: *longissimus dorsi*, pierna, espaldilla, concentración, ácidos grasos, aceite de atún y linaza.

FATTY ACIDS IN MEAT OF SHEEP FED DIETS SUPPLEMENTED WITH PROTECTED OIL

7.2 Abstract

The effect of the level and type of protected oil in the concentration of fatty acids in *longissimus dorsi* muscle, leg and shoulder sheep was investigated. A basal diet was formulated without oil (T), to which was added tuna oil (A) or linseed oil (L) both protected with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, at three levels (1, 2 and 3%). Content of fat, saturated fatty acids (myristic, palmitic and stearic) and unsaturated ones (oleic, linoleic, linolenic and arachidonic acid) and the ratio of n-6/n-3 was determined. Thirty-five lambs in a completely randomized design and the Tukey test for comparison of means were used. The leg had the lowest fat content ($P < 0.05$, 10.51%) compared to shoulder (13.47%). The inclusion of L increased 19% the content of myristic in shoulder, regarding to oil A. In comparison with the control diet (T) it was shown that in muscle *longissimus dorsi* the palmitic acid was lower ($P < 0.05$) with A 2% (21.54% vs 24.49%) and higher in shoulder with L 3% (26.87% vs 22.23%); stearic acid was higher ($P < 0.05$) in leg with A 1% and 3% (2.73% and 2.52% vs 0.79%.); linoleic acid increased ($P < 0.05$) in leg with A 3% (6.89% vs 2.1%). The intramuscular linolenic acid do not show differences between treatments. Arachidonic acid in leg showed difference between L with 1% (1.02%) vs A with 1% (0.38). Regarding the relation n-6/n-3 in the muscle *longissimus dorsi* it was better ($P < 0.05$) for diets containing L and A with 3% (0.68 and 0.78) compared to A with 1% (5.69). Supplementing diets for lambs with protected tuna or linseed oil in the range of 1 at 3% does not improve the level of linolenic acid in loin, leg or shoulder.

Key words: *longissimus dorsi*, leg, shoulder, concentration, fatty acids, linseed and tuna oil.

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Gemma Razo Herrera
Advisor: MC. Carlos Sánchez Del Real

7.3 Introducción

La nutrición y su relación con la salud humana ha sido estudiada extensamente, como consecuencia de la creciente preocupación de los consumidores por la seguridad alimentaria (Beorlegui, 2004), pero también por las posibilidades de utilización de la dieta como vehículo para la ingestión de nutrientes que han demostrado efectos favorables en la prevención y control de enfermedades (Barlow *et al.*, 1990; Breanne y David, 2009). Los nutricionistas de humanos recomiendan una ingesta mayor de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), en especial de los denominados omega-3 (n-3) y una menor ingesta de los ácidos omega-6 (n-6; Department of Health, 1994; Raes *et al.*, 2003; Jerónimo *et al.*, 2009). Estas recomendaciones afectan la demanda de productos alimenticios ricos en n-3, y determinan ajustes en los sistemas de producción animal para obtener alimentos con un menor contenido de grasa (Toral *et al.*, 2010). Productos como el huevo y la leche se han enriquecido con AG n-3 (Kim *et al.*, 1993; Ávila *et al.*, 2000; Raes *et al.*, 2003; Beorlegui, 2004, Givens *et al.*, 2006; Woods y Fearon, 2009), mientras que en carne Raes *et al.* (2004) reportan que n-3 mejora con la inclusión de aceite de pescado, rico en ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) o incluyendo aceite de linaza en la dieta por su alto contenido en ácido linolénico (LNA; C18:3 n-3), representando éste más del 50% del contenido de ácidos grasos que contiene (Kouba y Mourot, 2011). Con la finalidad de obtener concentraciones altas de ácidos grasos insaturados, específicamente ácido linolénico en la carne de ovino, se evaluó el efecto de la adición de aceite de atún y linaza a niveles de 1, 2 y 3% en la dieta protegidos a la hidrogenación ruminal con Ca(OH)₂.

7.4 Materiales y métodos

Tratamientos: se seleccionaron 35 corderos de lana de 31.1±1.15 kg PV, los cuales se distribuyeron en siete tratamientos de cinco corderos cada uno, los corderos fueron alojados en corraletas según diseño completamente al azar. A la recepción, los corderos fueron alimentados con una dieta a base de heno de alfalfa (50%) y paja de avena (50%), en los siguientes 12 días los corderos

fueron adaptados a la dieta correspondiente según tratamiento sustituyendo 20% de la dieta de recepción por la dieta experimental cada tres días. El consumo de agua y alimento fue a libre acceso, ofreciendo el 60% del alimento a las 07:00 h y el 40 % restante a las 15:00 h del día. El periodo de estudio fue de 60 días y los tratamientos consistieron en dietas suplementadas con aceite de linaza (L) o atún (A) a 1, 2 y 3% (BS) saponificados con Ca(OH)_2 , y una dieta testigo (T) sin suplementación (Cuadro 10).

Cuadro 10. Ingrediente y su proporción usada en la formulación de las dietas experimentales.

Ingrediente	T	Niveles de aceite (%)		
		1	2	3
		-----%-----		
Maíz rolado	30.0	29.0	28.5	28.0
Sorgo molido	29.0	28.0	28.0	27.0
Rastrojo de maíz	12.0	12.0	12.0	12.0
Alfalfa achicalada	10.0	10.0	10.0	10.0
Pasta de soya	9.0	10.0	9.5	10.0
Melaza	4.0	4.0	4.0	4.0
Gluten	3.0	3.0	3.0	3.0
CaCO ₃	1.0	1.0	1.0	1.0
Premezcla mineral	1.0	1.0	1.0	1.0
Sal	0.5	0.5	0.5	0.5
Urea	0.5	0.5	0.5	0.5
Aceite (Atún o de Linaza) ¹	0.0	1.0	2.0	3.0
	100	100	100	100
Costo ² , \$/kg	4.5	4.7	4.8	5.1

Composición nutritiva estimada: Proteína cruda, 15%; Energía Metabolizable, 2.9 Mcal Kg MS⁻¹; Fibra cruda, 8.5%; Azufre, 0.20%; Calcio, 1.04%; Fósforo, 0.32%; Cloro, 1.67%; Magnesio, 0.32%; Potasio, 0.97%; Sodio 0.36%; Cinc, 74.6 mg kg⁻¹; Cobalto, 0.79 mg kg⁻¹; Cu, 9.40 mg kg⁻¹; Hierro, 143.65 mg kg⁻¹; Manganeso, 76.40 mg kg⁻¹; Selenio, 0.45 mg kg⁻¹; Yodo, 1.22 mg kg⁻¹; vitamina A, 5663.6 UI; vitamina D, 1696.5 UI; vitamina E, 44.9 UI.

¹ Tres dietas contenían aceite de atún y tres aceite de linaza.

² Costo de materias primas al mes de febrero de 2012.

Toma de muestras de carne y determinación de ácidos grasos: al final del periodo de engorda los cordero se sacrificaron y se tomó una muestra de carne del músculo *longissimus dorsi*, pierna y espaldilla. Estas muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno y llevadas al laboratorio de Nutrición de Rumiantes de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se conservaron en refrigeración a 5 °C hasta su uso para la determinación de ácidos grasos. Para

el análisis de ácidos grasos se obtuvieron los extractos lipídicos siguiendo la metodología propuesta por Folch *et al.* (1957). Una vez obtenido el extracto, se pesó 0.05 g del extracto en un tubo eppendorf y se adicionó un mililitro de hexano y se mezcló manualmente. Diez microlitros de la mezcla se combinaron con 20 μ L de hidróxido de trimetil sulfonium (marca Fluka, Sigma) para la metilación de los AG. El tubo de esta última mezcla se cubrió con papel aluminio y se dejó reposar por dos horas. Finalmente se tomó 1 μ L de la mezcla y se inyectó a un cromatógrafo de gases (Auto-System, Perkin Elmer) equipado con un detector de ionización de flama (GC-FID) y una columna capilar de sílice (CP- Sil 88, Elite-Wax) de 30 m x 0.25 mm de diámetro interno x 0.20 lumen de espesor de la película. La rutina utilizada para la cuantificación de ácidos grasos fue basada en la que reporta Jerónimo *et al.*, (2009) con las modificaciones que se describen. La temperatura inicial de la columna fue de 130 °C, posteriormente se elevó 20 °C/min hasta llegar a 150 °C y se mantuvo por dos minutos; finalmente, se elevó la temperatura 4°C/min hasta llegar a 210 °C misma que se mantuvo por ocho minutos. La temperatura del inyector y detector fue de 250 °C. El gas de acarreo fue nitrógeno a 80 psi/min, mientras que el hidrogeno y aire a 30 psi/min. Los estándares de referencia fueron AG puros de 14:0, 16:0, 18:0, 18:1, 18:2, 18:3 y 20:4 carbonos. Los ácidos grasos cuantificados fueron mirístico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolénico y araquidónico.

Análisis de datos: se utilizó un diseño completamente al azar, el análisis de varianza se hizo con el procedimiento GLM y la comparación de medias por la prueba de Tukey considerando $\alpha=0.05$ como nivel de significancia (SAS, 2004).

7.5 Resultados y discusión

El contenido de grasa promedio en la carne de ovino fue de 12.7% lo cual concuerda con lo que reportan Wachira *et al.* (2002) y Jerónimo *et al.*, (2009). El menor contenido de grasa ($P<0.05$) fue para pierna (10.5%) en comparación con el músculo *longissimus dorsi* (14.2%) y espaldilla (13.4%), esta relación coincide con Valero *et al.* (2009) quienes reportan un contenido de 12.6% de

grasa para pierna, 16.9% para músculo *longissimus dorsi* y 15.3% para espaldilla en la carne de ovinos.

Respecto a los ácidos grasos saturados (Cuadro 11), se encontró que el contenido de ácido mirístico (C:14), no fue diferente en *longissimus dorsi* ni pierna por efecto del nivel o tipo de aceite. En espaldilla se encontró efecto ($P<0.05$) entre L3 (3.72%) y T (1.6%) con respecto a los demás tratamientos, así mismo, se observa que por cada unidad que se incremente aceite de atún en la dieta se tendrá un incremento de 0.39 unidades de C:14 ($y=0.39x+1.59$; $R^2=0.99$), mientras que para aceite de linaza se tendrá un incremento de 0.66 ($y=0.662x+1.54$; $R^2=0.93$); así, al adicionar aceite de linaza a la dieta se incrementa en mayor grado el contenido de C:14 en la carne. El ácido graso palmítico no presentó efecto en pierna, mientras que fue afectado en el músculo *Longissimus dorsi* y espaldilla. En el músculo *longissimus dorsi* se presentó menor ($P<0.05$) contenido de ácido palmítico en A2 (21.5%) y T (24.4%). En lo que respecta a espaldilla, L3 (26.87%) fue diferente ($p<0.05$) a T (22.23%). El ácido esteárico no presentó diferencia para lomo y espaldilla pero si para pierna, donde A1 (2.73%) y A3 (2.52%) son estadísticamente diferentes a T (0.79%), se observa que el aceite de atún tiene mayor efecto para el incremento de este ácido graso sobre el aceite de linaza. En general, los ácidos grasos saturados se comportaron de manera distinta, mirístico sólo se modificó en espaldilla atribuyendo el cambio al aceite de linaza, mientras que la concentración de ácido palmítico se afectó en el músculo *longissimus dorsi* donde no se puede explicar su comportamiento dado que hay una tendencia cuadrática, también se vio afectado el contenido en espaldilla como resultado del nivel más alto de aceite de linaza (A3). Finalmente el contenido de ácido esteárico sólo tuvo impacto en espaldilla siendo el aceite de atún el que mayor impacto presentó. Los contenidos de los ácidos grasos mirístico y palmítico coincide a los reportados por Jerónimo *et al.* (2009), Woods y Fearon (2009) y Hernández (2011), mientras que los resultados para esteárico no son consistentes.

Cuadro 11. Efecto del tipo y nivel de aceite^z en la dieta de cordero en el contenido de ácidos grasos de la carne, %.

Pieza cárnica	Ni	Grasa, %		Ácidos grasos saturados								Ácidos grasos insaturados												
				Mirístico		Palmitico		Esteárico		Oleico (n-9)		Linoleico (n-6)		Linolénico (n-3)		Araquidónico (n-6)		n-6 /n-3						
Longissimus dorsi																								
T	0	15.46	0.82	abc	4.25	0.81	24.49	0.16	a	2.68	0.49	57.73	0.94	3.23	1.89	2.25	0.49	0.49	0.08	1.28	b			
L	1	14.11	1.37	abc	4.96	0.96	24.21	0.39	a	2.78	0.19	54.75	2.38	6.83	0.02	2.88	0.47	0.28	0.03	1.37	b			
L	2	12.09	0.87	c	3.86	1.22	23.32	0.94	ab	3.26	0.43	53.91	4.71	4.62	0.73	2.55	0.27	0.38	0.03	1.35	b			
L	3	16.34	0.62	a	4.13	0.78	25.00	0.34	a	3.38	0.50	54.13	3.19	1.82	0.50	3.22	0.34	0.36	0.10	0.68	b			
A	1	12.22	0.60	bc	4.79	1.10	23.61	0.38	ab	3.26	0.60	54.40	0.72	5.06	1.50	2.04	0.65	1.18	0.96	5.69	a			
A	2	16.18	0.70	ab	6.80	2.54	21.54	1.02	b	3.58	0.82	39.12	7.35	5.06	0.86	2.56	0.49	0.25	0.05	1.52	b			
A	3	13.11	0.67	abc	3.41	0.30	25.95	0.50	a	2.73	0.22	53.41	2.55	3.00	0.50	3.69	0.42	0.28	0.03	0.78	b			
Pierna																								
T	0	11.39	1.84	abc	2.09	1.03	24.42	2.26		0.79	0.24	bc	25.60	1.43	2.10	0.56	b	0.64	0.05	0.59	0.06	ab	1.29	b
L	1	7.47	0.28	c	1.32	0.68	26.82	3.45		0.17	0.04	c	20.23	1.58	2.24	1.44	b	1.72	1.27	1.02	0.20	a	0.18	b
L	2	8.34	0.37	bc	2.03	0.72	24.20	1.60		1.44	0.18	abc	18.93	0.56	2.62	0.53	b	2.55	0.42	0.75	0.15	ab	0.98	b
L	3	13.79	1.91	a	2.40	0.67	23.55	1.02		0.90	0.07	bc	18.92	2.13	1.88	0.23	b	2.18	0.81	0.77	0.31	ab	0.45	b
A	1	8.35	0.44	bc	1.66	0.48	23.09	0.37		2.73	0.38	a	15.90	1.87	2.18	0.33	b	0.97	0.39	0.38	0.05	b	5.35	a
A	2	11.47	0.48	abc	3.08	1.22	24.48	1.70		1.58	0.30	ab	18.05	3.83	3.68	0.19	ab	0.44	0.31	0.83	0.11	ab	3.10	ab
A	3	12.79	1.27	ab	2.44	0.45	26.93	0.83		2.52	0.41	a	19.30	2.37	6.89	1.63	a	2.40	0.73	0.45	0.07	ab	2.44	ab
Espaldilla																								
T	0	17.71	0.00	a	1.60	0.62	b	22.23	0.90	b	3.90	0.18	19.83	1.27	3.46	0.41	ND		0.41	0.14				
L	1	12.73	0.54	b	2.28	0.07	ab	21.20	0.87	b	3.60	0.16	18.57	1.22	3.79	0.51	ND		0.43	0.05				
L	2	13.63	1.32	ab	2.54	0.21	ab	21.83	0.73	b	2.85	0.24	19.22	1.91	4.23	0.33	ND		0.23	0.04				
L	3	12.80	0.16	b	3.72	0.73	a	26.87	1.12	a	3.69	0.84	27.94	7.10	4.31	0.71	ND		0.38	0.08				
A	1	13.24	0.93	b	1.97	0.15	b	23.62	1.05	ab	4.14	0.60	29.54	5.82	3.87	0.44	ND		0.58	0.13				
A	2	12.49	0.71	b	2.42	0.20	ab	24.33	1.59	ab	4.00	0.44	19.79	2.28	3.23	0.41	ND		0.61	0.16				
A	3	11.68	1.12	b	2.75	0.24	ab	23.71	0.29	ab	2.09	0.31	26.52	6.20	3.27	0.26	ND		0.73	0.13				

^zMedias sin una letra en común, dentro de columna y dentro de pieza cárnica, son diferentes ($p < 0.05$).

n-6/n3: linoleico / (linolénico + araquidónico), SA: sin aceite. T: sin aceite, L: linaza, A: atún, Ni: % de aceite; ND: no detectado

En lo que respecta a ácidos grasos insaturados (Cuadro 11), se observa que el oleico, siendo el ácido graso más abundante no se impacta por el tipo y nivel de aceite; sin embargo, los ácidos grasos n-3 y n-6 con importancia en concentración en los productos cárnicos si presentaron variación. En pierna el ácido linoleico (n-6) presentó diferencia por efecto de tratamiento, con A3 se incrementó ($P < 0.05$) la concentración respecto a T (6.8 vs 2.1%). También, se observa la tendencia ($P > 0.05$) que al aumentar el nivel de aceite de atún se incrementa la concentración de ácido linoleico, mientras que el aceite de linaza lo disminuye. Estos resultados no coincide con los reportados por Vatansever *et al.* (2000) quienes encontraron que el aceite de linaza aumentó significativamente el contenido de ácido linoleico en carne de ovino. Por otra parte los resultados de este estudio coinciden con Kitessa *et al.* (2001) ya que encontraron un incremento de más de dos veces el nivel de linoleico al ofrecer aceite de atún protegido a corderos de lana. El ácido araquidónico en pierna fue diferente ($P < 0.05$) entre L1 (1.02%) vs A1 (0.38%). A pesar de que el linoleico se incrementó no afectó la concentración de araquidónico aunque la literatura marca que el ácido linoleico es precursor del ácido araquidónico (Pérez *et al.*, 1998). Respecto al linolénico los valores en espaldilla no se detectaron. En músculo *longissimus dorsi* y pierna a pesar de la alta oferta de ácido linolénico (LNA) en la alimentación por el aceite de atún y de linaza, el contenido intramuscular de LNA y de sus metabolitos no se incrementaron significativamente, lo cual puede deberse a una baja eficacia de protección de los aceites y a que en los rumiantes grandes cantidades de ácido linoleico (LA) y linolénico (LNA) procedentes de la dieta se hidrogenan en el rumen (Doreau y Ferlay 1994) aunque se encuentren protegidas ya que las sales de Ca de los ácidos grasos pueden disociarse en cierta medida en el rumen (Sukhija y Palmquist, 1990) y liberar los ácidos grasos por lo que disminuye su disponibilidad en duodeno. En segundo lugar, la tasa de oxidación de los ácidos grasos pueden diferir, Leyton *et al.* (1987) explica que el LNA tiene la tasa más rápida *in vitro* de oxidación de seis ácidos grasos insaturados, entonces si LNA se oxida preferentemente para la energía, puede explicar las bajas tasas de

incorporación observados con LNA. En tercer lugar, después de la absorción de LNA tiene que competir con LA para su incorporación, desaturación y elongación de metabolitos de cadena en los tejidos cárnicos (Mohrhauer y Holman, 1963). Kitessa *et al.* (2001) observaron incremento de LNA al incluir aceite de atún protegido al 3% en dietas para corderos, de igual manera Mandell *et al.* (1997) obtuvieron resultados similares en experimentos de corderos cuando se les administró harina de pescado o aceite de pescado de 5-10% a la dieta (Choi *et al.*, 2000; Scollan *et al.*, 2001), de igual forma Fontanillas *et al.* (1997) reportan aumentó notablemente del contenido de LNA en la carne de cerdo al suplementar aceite de linaza al 4%, por lo que quizá el factor que afecto el incremento de ácido linoleico fue el porcentaje de ácidos grasos suplementados.

En cuanto a la relación de n-6/n-3 en el músculo *longissimus dorsi*, fue mejor para las dietas que contenían 3% de aceite de linaza (0.68) y 3% de aceite de atún (0.78) como respuesta a la acumulación de ácido linolénico, mientras que, para pierna la mejor relación se presentó al incluir 1 y 3% de aceite de linaza a la dieta. Estos resultados son menores a los que reportaron Elmore *et al.* (2005) ya que encontraron 1.33 y 1.10 en corderos que fueron suplementados con aceite de linaza y atún protegidos, respectivamente, mientras que Enser *et al.* (1996) reportaron una relación de 1.32 para carne de cordero.

7.6 Conclusiones

Suplementar dietas para corderos con aceite de atún o linaza protegidos con Ca(OH)_2 en 2 y 3% no mejora el nivel de ácido linolénico en lomo, pierna o espaldilla. Sin embargo, para obtener mejor relación n-6/n-3, se debe suplementar aceite de atún o de linaza protegidos con Ca(OH)_2 al 3% en dietas para ovinos en finalización.

7.7 Literatura citada

- Ávila, C. D., E. J. De Peters, H. Pérez-Monti, S. J. Taylor, and R. A. Zinn. 2000. Influences of saturation ratio of supplemental dietary fat on digestion and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83: 1505-1519.
- Barlow, S. M., F. V. K. Young, and I. F. Duthie. 1990. Nutritional recommendations for n-3 polyunsaturated fatty acids and the challenge to the food industry. *Proceedings of The Nutrition Society* 49: 13-21.
- Beorlegui, C. D. B. 2004. Cambios en el perfil de ácidos grasos en productos animales en relación con la alimentación animal y humana. Importancia del ácido linoleico conjugado. 1. Rumiantes. Curso de Especialización FEDNA. Universidad Politécnica de Madrid. 15 p.
- Breanne, M. A., and W. L. Ma. David. 2009. Are all n-3 polyunsaturated fatty acids created equal?. *Lipids in Health and Disease* 8: 33.
- Choi, N. J., M. Enser, J. D. Wood, and N. D. Scollan. 2000. Effect of breed on the deposition in beef muscle and adipose tissue of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids. *Animal Science* 71: 509-519.
- Department of Health. 1994. Nutritional aspects of cardiovascular disease. Report on health and social subjects. H.M. Stationery Office, London. 46 p.
- Doreau, M., and A. Ferlay. 1994. Digestion and utilization of fatty-acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 45: 379-396.
- Elmore, J. E. S., S. L. Cooper, M. Enser, D. S. Mottram, L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson, and J. D. Wood. 2005. Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb. *Meat Science* 69: 233-242.
- Enser, M., K. Hallett, B. Hewett, G. A. J. Fursey, and J. D. Wood, 1996. Fatty acid content and composition of english beef, lamb and pork at retail. *Meat Science* 42: 443-456.
- Folch, J., M. Lees, and G. H. S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 226: 497-509.
- Fontanillas, R., A. Barroeta, M. D. Baucells, and R. Codony. 1997. Effect of feeding highly cis-monounsaturated, trans, or n-3 fats on lipid composition of muscle and adipose tissue of pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 3070-3075.
- Givens, D. I., K. E. Kliem, and R. A. Gibbs. 2006. The role of meat as a source of n 3 polyunsaturated fatty acids in the human diet. *Meat Science* 74: 209-218.

- Hernández C., L. 2011. Calidad de la canal y carne de corderos complementados con aceites y rastrojo de maíz. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 67 p.
- Jerónimo, E. A. C., S. P. Alves, J. A. M. Prates, J. Santos-Silva, and R. J. B. Bessa. 2009. Effect of dietary replacement of sunflower oil with linseed oil on intramuscular fatty acids of lamb meat. *Meat Science* 83: 499-505.
- Kim, Y. K., D. J. Schingoethe, D. P. Casper, and F. C. Ludens. 1993. Supplemental dietary fat from extruded soybeans and calcium soaps of fatty acids for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76: 176-204.
- Kitessa, S. M., S. K. Gulati, J. R. Ashes, T. W. Scott, and E. Fleck. 2001. Effect of feeding tuna oil supplement protected against hydrogenation in the rumen on growth and n-3 fatty acid content of lamb fat and muscle. *Australian Journal of agricultural Research* 52: 433-437.
- Kouba, M., and J. Mouro. 2011. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie* 93: 13-17.
- Leyton, J., P. J. Drury, and M. A. Crawford. 1987. Differential oxidation of saturated and unsaturated fatty acids *in vivo* in the rat. *British Journal of Nutrition* 57: 383-393.
- Mandell, I. B., J. G. Buchanan-Smith, B. J. Holub, and C. P. Campbell. 1997. Effects of fish meal in beef cattle diets on growth performance, carcass characteristics and fatty acid composition of *longissimus* muscle. *Journal of Animal Science* 75: 910-919.
- Mohrhauer, H., and R. T. Holman. 1963. Effect of linolenic acid upon the metabolism of linoleic acid. *Journal of Nutrition* 81: 67-74.
- Pérez R., A., O. L. Cartaya P., V. Valencia F., V. Sanjurjo G., y T. Ilisástigui O. 1998. Biosíntesis de los productos del ácido araquidónico y su repercusión sobre la inflamación. *Revista Cubana de Estomatología* 35: 56-61.
- Raes, K., S. De Smet, and D. Demeyer. 2003. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. *Animal Feed Science and Technology* 113: 199-221.
- Raes, K., L. Haak, A. Balcaen, E. Claeys, D. Demeyer, and S. De Smet. 2004. Effect linseed feeding at similar linoleic acid levels on the fatty acid composition of double-muscled Belgian Blue young bulls. *Meat Science* 66: 307-315.
- SAS. 2004. SAS/STAT User's guide. (Release 9.1) SAS Publishing, Cary (NC). 1-7: 5180.

- Scollan, N. D., N. J. Choi, E. Kurt, A. V. Fisher, M. Enser, and J. D. Wood. 2001. Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *British Journal of Nutrition* 85: 115-124.
- Sukhija, P. S., and D. L. Palmquist. 1990. Dissociation of calcium soaps of long-chain fatty acids in rumen fluid. *Journal of Dairy Science* 73: 1784-1787.
- Toral, P. G., P. Frutos, G. Hervás, P. Gómez-Cortés, M. Juárez, and M. A. De La fuente. 2010. Changes in milk fatty acid profile and animal performance in response to fish oil supplementation, alone or in combination with sunflower oil, in dairy ewes. *Journal of Dairy Science* 93: 1604-1615.
- Valero G., T., S. Pozo C., E. Ruiz M., J. M. Ávila T., y G. Varela M. 2009. Guía nutricional de la carne. <http://www.fedecarne.es/ficheros/swf/pdf/guiaNutricion.pdf>. Consultada el 29 de abril de 2014.
- Vatansever, L., E. Kurt, M. Enser, G. R. Nuten, N. D. Scollan, J. D. Wood, and R. I. Richardson. 2000. Shelf life and eating quality of beef from cattle of different breeds given diets differing in n-3 polyunsaturated fatty acid composition. *Animal Science* 71: 471-482.
- Wachira, A. M., L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson, M. Enser, J. D. Wood, and A. V. Fisher. 2002. Effects of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue. *British Journal of Nutrition* 88: 697-709.
- Woods, V. B., and A. M. Fearon. 2009. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review *Livestock Science* 126: 1-20.