



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y NIVELES DE ÁCIDO OLEICO EN LA CANAL DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON *Saccharomyces cerevisiae*

ADRIAN GLORIA TRUJILLO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

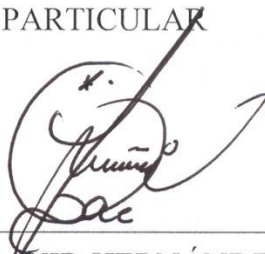
2012

La presente tesis titulada: **Comportamiento productivo y niveles de ácido oleico en la canal de corderos suplementados con *Saccharomyces cerevisiae***, realizada por el alumno: **Adrian Gloria Trujillo**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

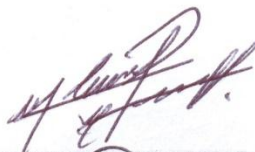
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



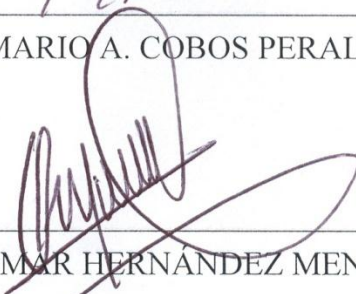
DR. DAVID HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

ASESOR



DR. MARIO A. COBOS PERALTA

ASESOR

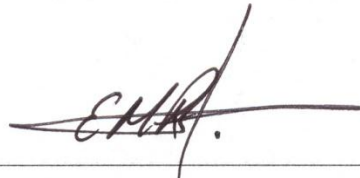


DR. OMAR HERNÁNDEZ MENDO

ASESOR

Ma Magdalena C.G.
DRA. MARÍA MAGDALENA CROSBY GALVAN

ASESOR



DR. EDGAR MERAZ ROMERO

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO, JULIO DE 2012.

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y NIVELES DE ÁCIDO OLEICO EN LA CANAL DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON *Saccharomyces cerevisiae*

Adrián Gloria Trujillo, M.C

Colegio de Postgraduados, 2012

Los altos niveles de ácidos grasos saturados en la carne de rumiantes representan un punto crítico en la alimentación humana por su relación con enfermedades cardiovasculares. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* (*Sc*) es rica en ácido oleico y representa una alternativa para modificar el perfil de ácidos grasos de la carne, al incrementar la proporción de ácidos grasos insaturados. Por lo anterior, se realizó un experimento con corderos en crecimiento (20 ± 0.9 kg PV), utilizando una dieta a base de concentrado y tres niveles (tratamientos, T) de *Sc* (0, 3 y 5 g animal⁻¹ d⁻¹, T1, T2 y T3, respectivamente), con el objetivo de determinar el comportamiento animal, caracterizar la fermentación ruminal, los niveles plasmáticos de colesterol y los ácidos grasos depositados en la canal. Los datos se analizaron con un diseño completamente al azar, con tres tratamientos y diez repeticiones. La adición de 3 g animal⁻¹ d⁻¹ (T2) de *Sc* disminuyó ($P < 0.05$) los niveles de consumo de MS en el segundo y cuarto periodo de evaluación. Sin embargo, no afectó ($P > 0.05$) la ganancia diaria de peso, ni la conversión alimenticia. En los componentes del alimento solamente se afectó ($P > 0.05$) la digestibilidad de la FDA, disminuyendo en 8.6 % con la adición de 5 g animal⁻¹ d⁻¹ de *Sc* (T3). No hubo efecto ($P < 0.05$) de *Sc* en las variables ruminales: pH, ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal; tampoco afectó ($P < 0.05$) el área del músculo *Longissimus dorsi*, espesor de grasa y colesterol total en sangre. Los niveles del ácido mirístico y esteárico en la canal no cambiaron ($P > 0.05$) en los tratamientos evaluados; sin embargo, el cultivo de levadura disminuyó ($P < 0.05$) los niveles del ácido palmítico, oleico y linoleico, a medida en que se incremento la dosis de *Sc*. Se concluye que la adición de *Saccharomyces cerevisiae* no es una fuente apropiada de ácido oleico con capacidad de deposición en la canal, ya que mostró una relación negativa entre los niveles de la levadura y las concentraciones de este ácido graso.

Palabras clave: *Saccharomyces cerevisiae*, oleico, corderos, fermentación ruminal, colesterol.

ANIMAL PERFORMANCE AND OLEIC ACID LEVELS IN LAMBS CARCASS
SUPPLEMENTED WITH *Saccharomyces cerevisiae*

Adrián Gloria Trujillo, M.C

Colegio de Postgraduados, 2012

The saturated fatty acids in ruminants carcass represent a critical point in human feeding because its relationship with cardiovascular disease. Given this, *Saccharomyces cerevisiae* (*Sc*) is an alternative to modify the fatty acids profile in meat, by increasing the proportion of deposited unsaturated fatty acids by high levels of oleic acid. An experiment was conducted using 30 growing trade lambs (20 ± 0.9 kg BW), distributed in three groups of 10 animals each one, and each group was housed in one of three treatments tested: 0, 3 and 5 g *Sc* animal⁻¹ d⁻¹. The objective was determine the productive performance and ruminal fermentation of the animal, apparent digestibility, plasma cholesterol levels and fatty acids deposited in carcass. A completely randomized design was used, data were analyzed using PROC GLM, considering ten replicates per treatment. The results showed that the addition of *Sc* with 3 g animal⁻¹ d⁻¹ decreased ($P < 0.05$) partially DM intake in evaluated periods, without affecting ($P > 0.05$) daily gain and feed conversion, so it decreased the digestibility of ADF. *Sc* did not affect ($P > 0.05$) ruminal parameters as VFA, N – NH₃ and ruminal pH, also did not affect ($P > 0.05$) *Longissimus dorsi* muscle area, back fat thickness and total blood cholesterol. As *Sc* dose increased, decreased ($P < 0.05$) the level of palmitic, oleic and linoleic acids. *Sc* is not an appropriate source of oleic acid capable of deposition in the carcass, showing a negative relationship between levels of yeast and the concentration of oleic acid.

Key words: *Saccharomyces cerevisiae*, oleic, lambs, ruminal fermentation, cholesterol.

DEDICATORIAS

Dedico este proyecto de vida a aquellas personas que estuvieron siempre a mi lado, de forma incondicional y desinteresada, que me apoyaron y guiaron de forma correcta para finalizar esta meta y verla cristalizar en un nuevo logro de vida.

Quiero dedicar este proyecto a;

Mi esposa María Elena Sosa Castillo, que con su apoyo y tiempo logramos superar dificultades y contratiempos, gracias por animarme a seguir adelante.

Mis padres Elpidio Gloria Cruz y María Delia Trujillo Torres, que han dedicado su vida a sacar adelante a su familia, ofreciéndonos educación y valores, gracias por darme las herramientas para lograr una carrera.

Mis hermanos, Viviana, Vidal y Cristina que al ser parte de mi vida han sido pieza fundamental en mi desarrollo, pues han sido ellos con quienes he compartido las cosas buenas y malas de mi infancia y mi vida adulta.

A mi abuelo, Trinidad Cruz, por que me ha demostrado que quien obra bien en la vida, recibe como recompensa el amor y cuidados de sus hijos, nietos, bisnietos y tataranietos, para ti mi viejo grande.

A mis Alma Mater, el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 35, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y el Colegio de Postgraduados, por guiarme vocacionalmente a mi futuro profesional, por brindarme el honor de poseer un título y por permitirme superar mis expectativas académicas.

ATTE

Ing. Adrian Gloria Trujillo

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sincero agradecimiento a la LPI 7, Inocuidad, Calidad de Alimentos y Bioseguridad, y a la LPI 11, Sistemas de Producción Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola y Pesquera del Colegio de Postgraduados, por su apoyo para realizar esta investigación. Así mismo se agradece a la empresa Alltech de México por la donación del cultivo de levadura Yea - Sacc¹⁰²⁶.

Le agradezco al Dr. David Hernández Sánchez, por su constante asesoramiento para la realización del presente estudio, ya que tuvo la confianza de permitirme desarrollar el tema de investigación que a mi me interesaba. De igual manera agradezco al Dr. Omar Hernández Mendo, a la Dra. Ma. Magdalena Crosby Galván, al Dr. Mario A. Cobos Peralta y al Dr. Edgar Meraz Romero, por que gracias a sus observaciones, a su tiempo y a sus consejos se logro concluir con éxito el escrito de mi tesis.

Agradezco a estas grandes personas que dentro de sus actividades diarias hicieron más confortable mi estancia en el Colegio de Postgraduados:

Sria. Ana Luisa, Sria. Lety, Don Tacho, Don Jorge, Don Agus

Muchas Gracias
ATTE
Ing. Adrian Gloria Trujillo

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Composición química de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	3
2.2. Contribución de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en el metabolismo de los rumiantes.....	4
2.2.1. Variables ruminales	4
2.2.2. Efectos sobre el consumo de materia seca	8
2.2.3. Efectos sobre la ganancia diaria de peso (GDP)	9
2.2.4. Efectos sobre la conversión alimenticia	10
2.2.5. Efectos sobre el área del músculo Longissimus dorsi	10
2.2.6. Efectos sobre el espesor de grasa dorsal	11
2.2.7. Efectos sobre el colesterol en plasma sanguíneo.....	12
2.3. Perfil de ácidos grasos de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13
2.4. Biohidrogenación.....	14
2.5. Perfil de ácidos grasos a nivel muscular	16
3. OBJETIVOS	19
4. HIPÓTESIS	19
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
5.1. Localización.....	20
5.2. Periodo experimental	20
5.3. Animales	20
5.4. Tratamientos	20
5.5. Dieta experimental.....	21
5.6. Variables evaluadas	22
5.6.1. Consumo de materia seca del alimento (g d^{-1})	22
5.6.2. Cambio de peso vivo (g d^{-1})	22
5.6.3. Conversión alimenticia.....	22
5.6.4. Análisis bromatológico de la dieta experimental	22
5.6.5. Digestibilidad aparente.....	26
5.6.6. Concentración de nitrógeno amoniacal	27
5.6.7. Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV).....	28
5.6.8. Colesterol en plasma sanguíneo	28
5.6.9. Perfil de ácidos grasos en músculo.....	29

5.6.10. Grasa dorsal y área del músculo Longissimus dorsi	31
5.7. Diseño experimental	31
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
6.1. Prueba de comportamiento	32
6.1.1. Consumo.....	32
6.1.2. Ganancia diaria de peso (GDP).....	34
6.1.3. Conversión alimenticia.....	36
6.2. Digestibilidad aparente	37
6.3. Variables Ruminales	39
6.3.1. Ácidos grasos volátiles (AGV).....	39
6.3.2. Nitrógeno amoniacal	42
6.3.3. pH	43
6.4. Variables productivas	45
6.4.1. Área del músculo Longissimus dorsi	45
6.4.2. Espesor de grasa	46
6.5. Colesterol en plasma sanguíneo.....	48
6.6. Perfil de ácidos grasos en carne	50
7. CONCLUSIONES	54
8. LITERATURA CITADA	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición química proximal de la cepa <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ¹⁰²⁶	3
2	Efecto de diferentes fuentes de aceites en el porcentaje de biohidrogenación ruminal de diferentes ácidos grasos insaturados de 18 carbonos	16
3	Adición de lasalocida y un cultivo de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en una dieta a base de ingredientes no convencionales y su efecto en la acumulación de proteína y grasa en la canal de borregos en crecimiento	17
4	Tratamientos experimentales	21
5	Temperatura de la rampa del horno para la determinación de ácidos grasos de cadena larga	30
6	Consumo de materia seca (kg d ⁻¹) de corderos en crecimiento alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	33
7	Ganancia diaria de peso (g d ⁻¹) de corderos alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	38
8	Conversión alimenticia de corderos en crecimiento alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	37
9	Digestibilidad aparente (%) de corderos alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	38
10	Concentración de ácidos grasos volátiles (mmol L ⁻¹) en líquido ruminal de borregos alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	40
11	Niveles de nitrógeno amoniacal (mg dL ⁻¹) en líquido ruminal de borregos alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	42
12	pH ruminal de borregos alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	43
13	Área del músculo <i>Longissimus dorsi</i> (mm ²) de corderos alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	45
14	Espesor de grasa dorsal (mm) de borregos alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	47
15	Niveles de colesterol total determinados en plasma sanguíneo de corderos alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	49
16	Perfil de ácidos grasos de la carne de corderos alimentados con diferentes niveles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Rutas de la biohidrogenación de (A) alfa – linolenico, (B) linoleico y (C) ácido oleico.	15

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de alimentos inocuos y de calidad es un derecho humano básico, y los individuos que participan en la cadena productiva deben estar capacitados para mantener la inocuidad a lo largo de la cadena productiva (Gaggía *et al.*, 2010). El entendimiento de la inocuidad agroalimentaria contribuye a diseñar las tecnologías que permiten a los productores acceder a los mercados competitivos nacionales e internacionales, ofertando productos inofensivos para la salud y de alto valor nutritivo (Mensah y Julien, 2011).

El ingreso de México a los mercados internacionales, condujo a una competencia agropecuaria de alto nivel, donde nuestro país contienda con los principales socios comerciales del Continente Americano, Europeo y Asiático (Trueta, 2005). Esto implica un compromiso en la mejora continua de la cadena productiva para obtener alimentos saludables que permitan disminuir los riesgos de salud pública. Recientemente se tiene un especial interés al consumo de carnes rojas, porque se le relaciona con altos niveles de colesterol en el plasma sanguíneo de los consumidores, propiciado principalmente, por la presencia de ácidos grasos saturados (Heshmati y Khodadadi, 2009; Dias *et al.*, 2010).

El problema radica en que el colesterol, a pesar de formar parte de las membranas celulares, es requerido para la síntesis de hormonas y sales biliares (Naviglio *et al.*, 2012). Si se encuentra en niveles elevados, puede ocasionar problemas cardiovasculares (Weingärtner *et al.*, 2011), específicamente la hiperlipemia o hipercolesterolemia o bien la aterosclerosis, debido a la obstrucción de las arterias (Van der Graaf *et al.*, 2008). Por lo anterior se busca una alimentación con menor factor de riesgo a través de un perfil lipídico apropiado (Cortes, 2005), con especial interés en el consumo de ácidos grasos insaturados, los cuales suelen ser benéficos para la salud. Tal es el caso del ácido oleico, que es capaz de disminuir el colesterol total, lipoproteínas de baja densidad (LDL-cis) y triglicéridos (Frenoux *et al.*, 2001; Ponnampalam *et al.*, 2001; Gnoni *et al.*, 2010).

El ácido oleico se caracteriza por su bajo porcentaje de biohidrogenación (hasta un 21 % menos en comparación con ácidos grasos polinsaturados) lo que permite que una parte de este ácido graso monoinsaturado escape a nivel duodenal y se deposite en músculos (Duckett *et al.*, 2002). Ante este escenario, *Sc* se presenta como una alternativa, dado su alto contenido de lípidos (4 a 7 %) (Markmann, 2004) y de ácido oleico que representa el 40.9 % de los ácidos grasos (Cortes *et al.*, 2009). Lo que permitiría incrementar los depósitos de ácidos grasos insaturados en la canal y mejorar la calidad e inocuidad de la carne para consumo humano al disminuir el riesgo de problemas cardiovasculares. Por lo anterior, en el presente estudio se evaluó el efecto de diferentes niveles de *Sc*, en el contenido de grasas insaturadas depositadas en la canal, y en otras variables fermentativas y de producción animal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Composición química de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*

La *Saccharomyces cerevisiae* (*Sc*) es una levadura unicelular, se divide por gemación y puede reproducirse de manera asexual cuando se encuentra en su forma haploide o bien de manera sexual a partir de un cigoto (Folch *et al.*, 2004).

En la actualidad se considera que *Sc* es uno de los microorganismos más estudiados y estrechamente ligados al progreso de la humanidad (Mewes *et al.*, 1997), es rica en vitaminas del complejo B, como biotina, niacina, ácido pantoténico y tiamina (Peralta *et al.*, 2008). La proteína total de la levadura está compuesta principalmente de polímeros de β -glucanos, α -mánanos, manoproteínas y en menor cantidad quitina. Los mánanos y manoproteínas representan entre el 30 y 40 % de la pared celular y determinan las propiedades de la superficie celular (Zhang *et al.*, 2005). La composición química proximal de la levadura *Sc* se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química proximal de la cepa *Saccharomyces cerevisiae*¹⁰²⁶

Componentes		g kg ⁻¹
Materia seca		921.8
Proteína cruda	máximo	185.4
Grasa	mínimo	49.4
Cenizas	máximo	6.9

Hučko *et al.* (2009).

2.2. Contribución de *Saccharomyces cerevisiae* en el metabolismo de los rumiantes

La levadura *Sc* ha sido ampliamente evaluada en estudios relacionados con la alimentación animal, tanto en rumiantes como en no rumiantes. Los estudios desarrollados en rumiantes contemplan evaluaciones de variables ruminales y su efecto en la respuesta animal.

2.2.1. Variables ruminales

La adición de *Sc* en la dieta de rumiantes aporta factores de crecimiento para los microorganismos ruminales, además de disminuir los niveles de oxígeno con el fin de mejorar las condiciones anaeróbicas requeridas para la actividad microbiana, como resultado, mejora la eficiencia y producción de energía disponible para el animal (Fonty y Chaucheyras, 2006).

Erasmus *et al.* (2005) encontraron que *Sc* modifica favorablemente la concentración de aminoácidos disponibles para el rumiante, reduce la metanogénesis e incrementa la digestibilidad de la fibra (Reynoso *et al.*, 2010) y proteína de sobrepaso (Arambel y Kent, 1990); disminuye la incidencia de diarreas y acidosis, e incrementa la población de protozoarios (Ayala *et al.*, 1994). Además de que existe una respuesta favorable en el pH ruminal y la digestibilidad de la materia seca (Crosby *et al.*, 2004).

2.2.1.1. Efecto en el pH ruminal

Los valores de pH en el rumen cambian influenciados por factores como el tipo de alimento. Un animal al consumir una dieta baja en fibra, masticará menos y por lo tanto, la salivación será reducida, lo que facilita un descenso del pH ruminal con la producción de AGV, principalmente durante el pico de fermentación, 3 ó 4 horas después de la ingestión de alimento. En este pico de fermentación los carbohidratos solubles y los almidones tienen su máxima tasa de fermentación originando variaciones del pH entre 5.5 a 6.5 (Montalbetti, 2009).

La utilización de cultivos de *Sc* como probiótico en la alimentación de rumiantes mejora la estabilización del pH ruminal (Chaucheyras *et al.*, 2008). No obstante, existen investigaciones donde la evaluación de dos cepas de *Sc* no afectó la fermentación ni el pH ruminal (Lila *et al.*, 2004).

Kumar *et al.* (1994) proporcionaron 5 g d⁻¹ de *Sc* a búfalos en crecimiento y relacionaron el incremento en el pH ruminal con una disminución en la concentración de lactato, causada por un aumento en la población bacteriana, misma que se favoreció de la existencia de nutrientes termolábiles contenidos en *Sc*. En otro estudio, la disminución en el pH fue evidente al adicionar *Sc* en la dieta de corderos en crecimiento (Tripathi y Karim, 2011).

Throne *et al.* (2009) evaluaron el efecto de *Sc* sobre el pH ruminal y la fermentación microbiana en vacas lecheras, encontrando estabilización del pH en el rumen de los animales que recibieron *Sc* (pH=6.32) en comparación con el grupo testigo (pH=5.53). Resultados similares fueron reportados por Bach *et al.* (2007). No obstante, es recurrente encontrar investigaciones donde no se demuestra efecto de la adición de *Sc* sobre el pH ruminal (García *et al.*, 2000; Miller *et al.*, 2002; Erasmus *et al.*, 2005).

Sin embargo, al realizar un meta-análisis sobre el efecto de la suplementación de *Sc* sobre los parámetros ruminales, la digestibilidad de nutrientes y el crecimiento en corderos. Sales (2011) concluye que no existe efecto significativo de *Sc* sobre los parámetros ruminales, a excepción de incrementar la población total de protozoarios en rumen. En otro estudio, Macedo *et al.* (2009) reportaron que en dietas de moderado potencial de crecimiento (altas en forraje), el uso de *Sc* era capaz de incrementar el pH, en comparación con dietas de rápido potencial de crecimiento (altos niveles de concentrado).

Al parecer, la gran variabilidad entre los resultados de diferentes investigaciones sobre los beneficios de *Sc* depende de factores, como la viabilidad y tipo de cepa de *Sc* o bien la naturaleza de la dieta que sea ofrecida al animal, al ser capaces de modificar la

respuesta microbiana ruminal (Sales, 2011). Cuando en los concentrados se utilizan granos que han sido procesados, la disminución del pH suele ser mayor y más rápida, ya que el procesamiento de los granos facilita la degradación ruminal de almidones al permitir una mayor adherencia de los microorganismos a las partículas, y por lo tanto una mayor efectividad en su degradación (Beauchemin y Yang, 2005).

2.2.1.2.Efecto sobre la producción de ácidos grasos volátiles (AGV)

Los rumiantes se caracterizan por hospedar diferentes poblaciones microbianas en el rumen, que fermentan los carbohidratos consumidos por el animal, liberando ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente acetato, propionato y en menor proporción butirato, además representan la principal fuente de energía para el rumiante (Church, 1991).

Throne *et al.* (2009) reportaron una disminución en la producción de AGV al suplementar ganado lechero con *Saccharomyces cerevisiae*, en comparación con aquellas vacas que no recibieron la levadura, atribuyendo los resultados al incremento del pH. No obstante, la proporción molar del butirato se incrementó, por efecto de *Sc*. Congruente con estos resultados; Corona *et al.* (1999) encontraron mayor concentración molar de butirato al adicionar levucell (*Saccharomyces cerevisiae*) en una dieta a base de rastrojo de maíz para corderos en crecimiento.

La concentración de AGV post alimentación se incrementa significativamente con el uso de *Sc*. Por ejemplo, Moya *et al.* (2009) determinaron que los niveles de AGV antes de la suplementación de *Sc* eran menores a los estimados después de la suplementación, esto sugiere una mayor eficiencia de la fermentación en la dieta con presencia de *Sc*. Los efectos de *Sc* sobre la producción de AGV pueden ser inconsistentes. Seymour *et al.* (2005) señalan que los niveles de AGV después de la alimentación, se deben al efecto de la levadura sobre el pH ruminal.

Lila *et al.* (2004) observaron incrementos en la concentración total de AGV utilizando dosis crecientes de levadura en la dieta. De manera similar, García *et al.* (2000) reportaron un incremento en la concentración molar de AGV al adicionar *Sc* (91.3 mmol L⁻¹) o *Sc* combinada con monensina (79.7mmol L⁻¹) en comparación con el tratamiento testigo (61.8 mmol L⁻¹), los autores mencionan que uno de los principales modos de acción de *Sc* es estimular el crecimiento de las bacterias ruminales. Este efecto se puede relacionar con un incremento en la digestibilidad de la materia seca y mayor producción de AGV. Además, en sinergia con los ionóforos, disminuye la producción de lactato, y se evita la acumulación de AGV y lactato en el rumen, lo que podría resultar en una acidosis (Moya *et al.* 2009). Lynch y Martin (2002) sugieren que *Sc* es capaz de evitar la acidificación ruminal al incrementar la actividad de bacterias que utilizan el lactato para su metabolismo lo que evita estas alteraciones ruminales.

2.2.1.3.Efectos sobre el nivel de nitrógeno amoniacal

Las proteínas y el nitrógeno no proteico (NNP) que entran al rumen son transformados a compuestos más simples por enzimas microbianas extracelulares. La mayor parte de estas enzimas son endopeptidasas similares a la tripsina y forman péptidos de cadena corta como sustratos terminales. Estos péptidos se originan extracelularmente y son absorbidos hacia el interior de los microorganismos ruminales. En el interior microbiano los péptidos son degradados a aminoácidos y utilizados para la formación de proteínas microbianas, o son degradados todavía más para la producción de energía a través de diferentes rutas metabólicas en AGV. El amoniaco resultante es el primer compuesto nitrogenado que utilizan los microorganismos para la síntesis de aminoácidos y proteínas. Para esto, es necesario considerar que existan la suficiente energía o carbohidratos solubles (Abdoun *et al.*, 2007). Buxadé (1995) menciona que el bajo contenido proteico origina baja cantidad de nitrógeno amoniacal en el rumen.

Yoon y Stern (1996) evaluaron el efecto de un cultivo de *Sc* y de *Aspergillus oryzae* sobre la fermentación ruminal de vacas lecheras y determinaron niveles de nitrógeno amoniacal más bajos en el tratamiento con *Sc*. Por su parte, Jouany *et al.*

(1998) confirmaron el efecto estimulante de *Sc* sobre la producción de nitrógeno amoniacal en animales faunados. En la literatura se menciona que la población de protozoarios responde positivamente a la adición de azúcares solubles, lo que ayudaría a explicar los incrementos observados en la digestibilidad de la pared celular y los niveles de nitrógeno amoniacal (Mackie *et al.*, 1978 y Bonhoomme, 1990).

En contraste, Hristov *et al.* (2010) no observaron cambios en los niveles de nitrógeno amoniacal al adicionar *Sc* en la dieta de ganado lechero. Moya *et al.* (2009), tampoco observaron efecto de *Sc* sobre las concentraciones ruminales de nitrógeno amoniacal.

2.2.2. Efectos sobre el consumo de materia seca

En los rumiantes el consumo de materia seca se ve afectado por factores como la edad, estado fisiológico y tipo de alimentación. Sin embargo, la inclusión en la dieta de altos porcentajes de concentrado han desbalanceado su naturaleza forrajera y la mantención de condiciones físico – químicas óptimas en el rumen para un adecuado funcionamiento de su flora bacteriana y la absorción de nutrientes (Gasque, 2008).

Con la adición de *Sc* a la dieta de rumiantes se busca mejorar las condiciones físico – químicas del rumen. Moya *et al.* (2009) al evaluar los efectos de la dieta y la inclusión de *Sc* sobre los cambios en el consumo de materia seca en vaquillas Holstein, observaron un ligero incremento en el consumo de 6.04 kg MS para el tratamiento con *Sc* (14 g d⁻¹) contra 5.87 kg MS para el testigo a las 12 h de iniciado el experimento, resultados que concuerdan con los de Dann *et al.* (2000) al adicionar 60 g d⁻¹ de *Sc* a vacas Jersey con consumos que van de los 7.7 kg d⁻¹ MS (testigo) a los 9.8 kg d⁻¹ MS (*Sc*). Por otro lado, Arcos *et al.* (2000) reportan consumos de MS de 1379 g d⁻¹ vs los 1183 g d⁻¹ del grupo testigo (P < 0.01). Acorde con esta información, Newbold *et al.* (1995) reportaron que la mejoría en el consumo de borregos alimentados con *Sc* puede explicarse por la eficiencia de la levadura en promover el crecimiento de las bacterias celulolíticas, las cuales incrementan los nutrientes disponibles para el animal y

disminuyen los problemas digestivos, al evitar una acumulación de ácidos, producto de la fermentación después de una inserción brusca de concentrado, lo que puede desarrollar acidosis (Krause y Oetzel, 2006) y mermar los estándares de producción.

No obstante, Ayala *et al.* (1994) al evaluar dosis de $0.5 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de *Sc* no detectaron efecto sobre el consumo de MS en ovinos. Por su parte, Mutsvangwa *et al.* (1992) y Haddad y Goussous (2005) adicionaron cultivos de levadura en la dieta de rumiantes, sin encontrar efecto en el consumo de materia seca. Una respuesta similar fue observada por Macedo *et al.* (2006) al evaluar el efecto de *Sc* a la dosis de 1 g kg^{-1} de alimento sobre el comportamiento productivo de corderos, la inclusión de la levadura no modificó el consumo de materia seca en comparación con el grupo testigo (1230 g d^{-1} MS vs 1240 g d^{-1} MS respectivamente).

En estudios conducidos por Junipper *et al.* (2008) se evaluó la tolerancia de los rumiantes a altas dosis de selenio enriquecido con *Sc* en el alimento. Se determinó que en corderos, el consumo de materia seca era menor en presencia de *Sc* (952 g d^{-1} MS) con respecto al testigo (1026 g d^{-1} MS). Así mismo, Holtshausen y Beauchemin (2010) al evaluar $0.5 \text{ g d}^{-1} \text{ animal}^{-1}$ de *Sc* en vacas lecheras, reportan consumos de MS de 23.15 kg d^{-1} (Testigo) y 22.7 kg d^{-1} (*Sc*). Pero en otro estudio, donde Wohlt *et al.* (1998) evaluaron dosis de 0, 10 y 20 g d^{-1} de *Sc* reportaron consumos de materia seca de 24.3, 25.1 y 26.1 kg d^{-1} respectivamente.

2.2.3. Efectos sobre la ganancia diaria de peso (GDP)

El uso de *S. cerevisiae*, en dosis de 3 y $6 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en la dieta de corderos en crecimiento originó GDP de 266 y $227 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$, estos valores fueron superiores al grupo testigo quien reporto $212 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Haddad y Goussous, 2005). Sin embargo, se han encontrado variaciones en cuanto a la GDP y su relación con los niveles de proteína en la dieta, es decir, una dieta para engorda deberá tener entre un 15 y 17 % de proteína cruda (NRC, 2007), de lo contrario *Sc* tiende a mejorar la GDP en animales alimentados con dietas bajas en proteína (Kawas *et al.*, 2007).

La GDP está directamente relacionada con los incrementos en el consumo de alimento y aumento en la digestibilidad de la fibra a partir de una mayor actividad bacteriana (Bouda *et al.*, 1997). En este sentido, Titi *et al.* (2008) reportaron GDP de 266 g d⁻¹ en corderos que recibieron concentrado y *Sc*, no así para los corderos de la dieta testigo, quienes obtuvieron GDP de 261 g d⁻¹, ligeramente menores al tratamiento con *Sc*, debido a que el consumo pudo verse afectado por problemas de acidosis, comunes en animales con dietas ricas en concentrado (Macedo *et al.*, 2009).

Bonilla *et al.* (1992) al adicionar 5 g d⁻¹ de *Sc* en una dieta para borregos Pelibuey a base de rastrojo de maíz enmelazado, observaron mayor GDP por efecto de la levadura en comparación con el grupo testigo. En este sentido, la mejora en los estándares productivos, originados por efecto de la levadura *Sc* están relacionados con la optimización de la digestibilidad de los nutrientes por la manipulación de la fermentación ruminal (Bouda *et al.*, 1997).

2.2.4. Efectos sobre la conversión alimenticia

Sales (2011) evaluó los efectos de la suplementación con *Sc* en el crecimiento y comportamiento productivo de borregos, pero no encontró respuesta de la levadura en el consumo de alimento y en la conversión alimenticia. Resultados similares fueron reportados por otros investigadores al usar *Sc* en rumiantes (Kawas *et al.*, 2007; Payandeh y Kafilzadeh, 2007). En contraste, Haddad y Goussous (2005) reportaron aumento en tasa de crecimiento y conversión alimenticia al suplementar con *S. cerevisiae*.

2.2.5. Efectos sobre el área del músculo *Longissimus dorsi*

Al ser una de las principales características productivas de la canal, indica de manera objetiva la cantidad de tejido muscular producida. Se evalúa a la altura del músculo *Longissimus dorsi* y se identifica como el área del ojo del lomo (Sainz, 1996). Los valores normales en ovinos adultos y corderos pesados oscilan entre 14 y 16 cm² (Arbiza, 1996).

Kawas *et al.* (2007) evaluaron la eficiencia de *Sc* en la dieta con o sin bicarbonato de sodio (BS) sobre el rendimiento y las características de la canal de corderos en finalización, observando una área del músculo *Longissimus dorsi* de 11.20 cm² cuando la dieta contenía BS + *Sc*, de 10.00 cm² con *Sc* y de 9.00 cm² con BS.

En otro estudio donde se evaluó el efecto de adicionar *Sc* sobre el crecimiento y calidad de la canal en novillos alimentados con dietas altas en forraje o concentrado, se observó que la presencia de *Sc* contribuye a mejorar las características como espesor de grasa y área del ojo de la costilla (Mir y Mir, 1994).

Fernández *et al.* (1997) utilizaron ultrasonido para predecir características corporales en animales vivos, midieron el área del músculo en borregos de la raza Merino, Manchego y la cruce de éstas, encontrando valores del área del músculo *Longissimus dorsi* de 10.11, 11.00 y 12.10 cm², respectivamente, destacando la importancia del vigor híbrido; además de mencionar que estas características son mediadas en gran parte por la genética del animal.

En otro reporte, Fernández *et al.* (1997) al estudiar el efecto del peso en los niveles del área del músculo *Longissimus dorsi* en borregos, encontraron incrementos casi del 100 % en el área que se obtuvo a los 25 kg PV (5.43 cm²) en comparación con aquella que se determinó a los 35 kg PV (10.71 cm²).

Seabrook *et al.* (2011), evaluaron una fuente de ácido oleico y palmítico como ingrediente energético para corderos en finalización, y determinaron que el uso de estas fuentes disminuyeron el área del músculo *Longissimus dorsi*.

2.2.6. Efectos sobre el espesor de grasa dorsal

El uso de *Sc* adicionada a la dieta de corderos en finalización puede modificar algunas características de la canal, como el espesor de la grasa dorsal (8.2 vs 6.6 mm, con y sin *Sc*, respectivamente; Titi *et al.*, 2008). En contraste, en terneros la

suplementación con *Sc* no influenció las características del espesor de grasa dorsal de la canal (Basiony *et al.*, 1998).

Cuando se evaluó la composición tisular de lomo de corderos terminados en estabulación, se determinaron valores de espesor de grasa de 1.7 mm, el cual fue superior al reportado para corderos terminados en pastoreo (1.1 mm). Sin embargo, Seabrook *et al.* (2011) al utilizar dietas ricas en aceites vegetales y criados bajo condiciones intensivas, reportaron una disminución de la grasa dorsal, con respecto al grupo testigo, a medida en que se incrementaba la cantidad de ácido oleico y palmítico en la dieta.

El sexo es uno de los factores que influencia los niveles de espesor de grasa dorsal de la canal. Fernández *et al.* (1997) determinaron que las borregas presentaban niveles superiores de espesor de grasa en comparación con los machos, cuando ambos grupos son comparados a la misma edad y bajo el mismo régimen alimenticio.

2.2.7. Efectos sobre el colesterol en plasma sanguíneo

El colesterol se encuentra en las células de animales y la concentración normal en plasma sanguíneo oscila entre 1.61 y 4.98 mmol L⁻¹ (Merck, 2000). Sin embargo, es común encontrar animales en engorda con altos niveles de colesterol y grasas saturadas, con el objetivo de proveer al mercado canales altamente palatables, obtenidas con dietas altas en concentrados (Nuernberg *et al.*, 2008).

Beynen *et al.* (2000) evaluaron la influencia de la cantidad y tipo de grasa ofrecida en dietas para cabras, sobre las concentraciones de colesterol total en plasma sanguíneo. Los animales fueron alimentados con una combinación de aceites de palma y de oliva (alto en ácido oleico), se determinó un incremento de colesterol total en plasma sanguíneo de 90 % (1.37 vs 2.62 mmolL⁻¹, dieta testigo y con aceites, respectivamente) por efecto de la adición de aceites vegetales. No obstante, Grundy (1986) y Van den Top *et al.* (1994) observaron un efecto depresor del ácido oleico sobre los niveles de

colesterol total en plasma sanguíneo. Lo que coincide con Ponnampalam *et al.* (2001), quienes evaluaron las modificaciones sobre metabolitos sanguíneos, al agregar a la dieta de corderos, fuentes de ácidos grasos de cadena larga, y encontrar que el aceite de pescado y la harina de girasol protegida reducen el colesterol total en plasma sanguíneo.

Otros estudios han contemplado el efecto del fenotipo sobre el nivel de colesterol total en plasma sanguíneo de corderos en crecimiento, destacando la edad como indicador de los niveles de este metabolito; en este sentido, se observa que en los primeros meses de edad los niveles de colesterol total oscilaban entre 3.33 y 8.88 mmol L⁻¹, mientras que a partir del tercer mes de edad, los niveles de colesterol total es sangre eran de 3.33 y 4.44 mmol L⁻¹ (Meyer *et al.*, 1996).

2.3. Perfil de ácidos grasos de *Saccharomyces cerevisiae*

El perfil lipídico de *S. cerevisiae* es realmente variable. Depende del medio de cultivo en el que se produzca, y de las condiciones aeróbicas o anaeróbicas en que se desarrolle. Cuando diferentes cepas de *Sc* crecen bajo condiciones estrictamente anaeróbicas, sus requerimientos nutricionales son inducidos por componentes celulares o precursores celulares, cuya síntesis requiere oxígeno molecular (Watson y Rose, 1980). Bajo condiciones anaeróbicas, los principales requerimientos nutricionales son el esterol y un ácido graso insaturado (oleico, linoleico o linolenico). Para condiciones aeróbicas, los requerimientos nutricionales se basan en un medio a base de glucosa y sales. Sin embargo, el crecimiento exponencial se extiende por un tiempo más largo en cultivos aeróbicos. (Watson y Rose, 1980).

Cortés *et al.* (2009) encontraron que la composición nativa de ácidos grasos de *S. cerevisiae* consiste principalmente de los ácidos grasos monoinsaturados; oleico (C18:1, 40.9%) y palmitoleico (C16:1, 23.5%), y en menor proporción de los ácidos grasos saturados; palmítico (C16:0, 21.7%) y esteárico (C18:0, 13.9%).

La alta concentración de ácido oleico en *S. cerevisiae*, se podría relacionar con una mejora de la calidad nutricional de la carne, al disminuir los niveles de ácidos grasos saturados e incrementar los niveles de ácido oleico en la composición de la grasa depositada en musculo. Sin embargo, en los rumiantes, los ácidos grasos insaturados de la dieta, sufren una biohidrogenación a nivel ruminal, que transforman del 86.6 a 95.3 % de los ácidos grasos polinsaturados (AGPI) en ácidos grasos saturados (Jenkins, 1993).

2.4. Biohidrogenación

Los microorganismos son capaces de sintetizar cantidades notables de ácidos grasos a partir de carbohidratos y de hidrogenar los ácidos grasos insaturados que son ingeridos en la dieta, por lo que los ácidos grasos que llegan al duodeno son en menor cantidad de origen dietético y principalmente el resultado de la biohidrogenación causada por la actividad microbiana (Buccioni *et al.*, 2012).

Como resultado de la fermentación bacteriana, en el rumen se producen modificaciones químicas de los ácidos grasos como la isomerización, hidroxilación y biohidrogenación, *Butirivibrio fibrisolvens* tiene una enzima delta 9 – desaturasa, requerida para sintetizar ácido linoleico conjugado (CLA); esta enzima se encuentra principalmente en bacterias del rumen, tejido adiposo y glándula mamaria (Demeyer y Henderickx, 1967).

El primer paso del mecanismo de la biohidrogenación del ácido linoleico (cis-9, cis-12 octadecadienoico) es la isomerización al ácido graso cis-9, trans-11 octadecadienoico, o ácido linoleico conjugado (CLA), donde el término conjugado se refiere a que los dobles enlaces se encuentran separados por un solo átomo de carbono, al que están unidos por enlaces simples. Posteriormente, hay dos reducciones sucesivas, que producen principalmente el ácido oleico 11-trans (ácido trans-vaccénico), un ácido graso monoinsaturado con el doble enlace en configuración trans, y el ácido esteárico, respectivamente (Kepler *et al.*, 1966). El producto final de la biohidrogenación del ácido linoleico es el ácido esteárico. Sin embargo, la reacción de conversión del CLA en ácido

trans-vaccénico es más rápida que la hidrogenación de este a ácido esteárico, por lo que el ácido trans-vaccénico tiende a acumularse en el proceso de la reacción. Por consiguiente, cantidades significativas de este ácido graso trans monoinsaturado, alcanzan el duodeno, donde son absorbidos y se retienen en la leche o en el tejido adiposo del animal (Zock y Kattan, 1992).

El ácido oleico no comparte la misma ruta de biohidrogenación que el ácido linoleico, pero si comparte el mismo fin que es el ácido esteárico, como se muestra en la Figura 1.

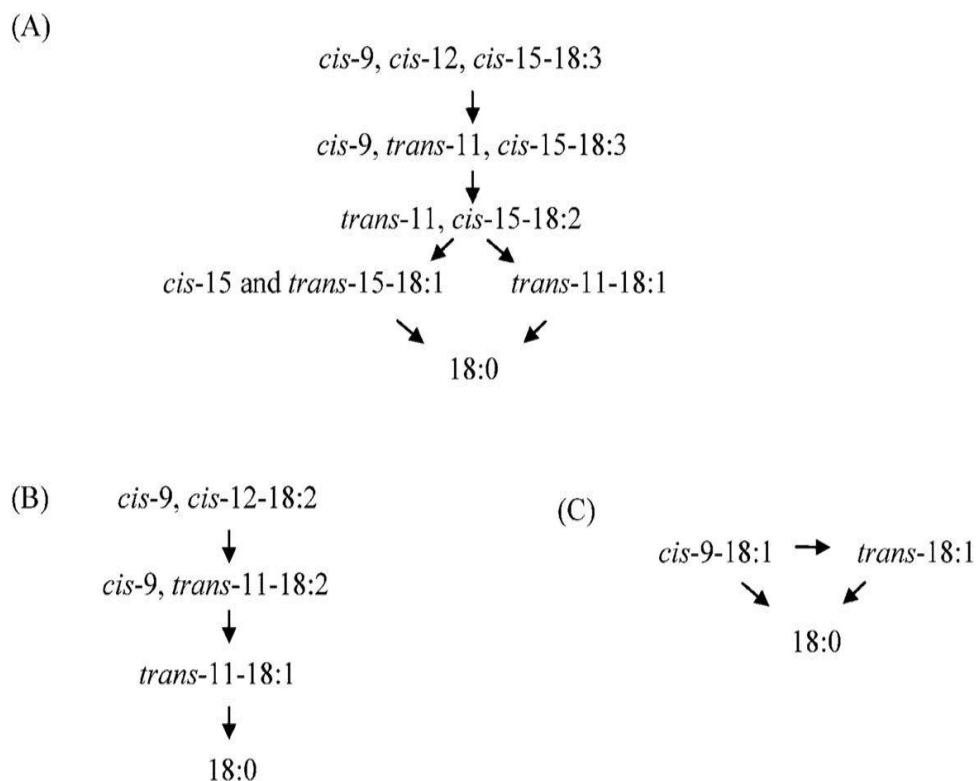


Figura 1. Rutas de la biohidrogenación de (A) alfa – linolenico, (B) linoleico y (C) ácido oleico (Harfoot y Hazlewood, 1988).

Dentro de los diferentes ácidos grasos que son biohidrogenados, están el oleico, linoleico y linolenico, los cuales son transformados en ácido esteárico (18:0). El proceso de biohidrogenación es mayor en ácidos grasos poli insaturados, en cambio el nivel de

biohidrogenación del ácido oleico es menor y puede escapar relativamente al proceso de biohidrogenación (Duckett *et al.*, 1993).

2.5. Perfil de ácidos grasos a nivel muscular

El perfil de ácidos grasos del músculo en bovinos está compuesto aproximadamente de 40 a 45 % de ácidos grasos saturados (AGS) y un 50 a 55 % de ácidos grasos insaturados (AGI). Es importante destacar que los depósitos grasos de los rumiantes presentan mayor contenido de AGS respecto a los no rumiantes (Geay *et al.*, 2001). Debido al proceso de biohidrogenación que sufren los AGI.

Duckett *et al.* (2002) encontraron que a pesar de suplementar dietas con diferentes aceites, como fuentes de ácidos grasos mono y polinsaturados a la dieta de rumiantes, el proceso de biohidrogenación que sufren los diferentes ácidos grasos es alto. Sin embargo, de entre estos, el ácido oleico sufre una menor saturación y por lo tanto es aprovechado a nivel duodenal para ser depositado en músculo.

Cuadro 2. Efecto de diferentes fuentes de aceites en el porcentaje de biohidrogenación ruminal de diferentes ácidos grasos insaturados de 18 carbonos

Ácidos grasos	Tratamientos en la dieta		
	TC	HOC	OIL
Total C18 AGIS ^B	69.23	73.18	72.58
C18:1 C-9 ^{C#}	65.77	78.90	69.60
C18:2 C-9 C- 12 ^{C&}	77.82	79.23	83.67
C18:3 C9-C-12C-15 ^{C\$}	89.33	91.32	92.85

[#] Ácido oleico, [&] ácido linoleico, ^{*} ácido linolenico

^B Biohidrogenación total (%) de los ácidos grasos insaturados C18 (AGIS).

^C Biohidrogenación individual de los ácidos grasos insaturados C: 18.

TC (79.2 % maíz, 14 % heno, 3.0 % de ácidos grasos)

HOC (79.2 % de aceite de maíz, 14 % heno; 5.2 % de ácidos grasos)

OIL; (76.9 % de maíz, 14 % heno, 2.4 % de aceite de maíz y 5.2 % de ácidos grasos)

Duckett *et al.* (2002).

En otras investigaciones, Duckett *et al.* (1993) determinaron los ácidos grasos insaturados en la composición de la canal de los animales que fueron alimentados con diferentes dietas ricas en ácidos grasos insaturados, y reportan que en comparación con los ácidos grasos polinsaturados, el ácido oleico represento hasta un 40 % del total de ácidos grasos depositados en el músculo.

Estudios realizados por Hernández (1996) donde se consideró la adición de *Saccharomyces cerevisiae* en la dieta de corderos en crecimiento, se observaron incrementos en la cantidad de grasa acumulada en la canal de los corderos que recibieron la levadura Yea Sacc¹⁰²⁶ (Cuadro 3).

Cuadro 3. Adición de lasalocida y un cultivo de *Saccharomyces cerevisiae* en una dieta a base de ingredientes no convencionales y su efecto en la acumulación de proteína y grasa en la canal de borregos en crecimiento.

Variable	Tratamiento				EE
	Testigo	Sc	Las	Sc + Las	
Proteína acumulada	1.82	1.66	1.89	2.01	0.290
Grasa acumulada	1.96	2.45	1.36	3.21	0.590
Tasa de PA ^e	0.015	0.014	0.016	0.017	0.002
Tasa de GA ^f	0.016	0.011	0.011	0.027	0.004

^a Acumulación expresada en kg durante 120 días, ^e Tasa de proteína acumulada kg d⁻¹

^f Tasa de grasa acumulada kg d⁻¹, Sc = *Saccharomyces cerevisiae*, Las = Lasalocida

EE = Erros experimental

Hernández (1996).

Los resultados mostrados en el Cuadro 3, específicamente los incrementos de la grasa acumulada, se relacionaron con los niveles de acetato presente en el rumen por efecto de la fermentación de la levadura (Hernández, 1996). No obstante, la grasa acumulada puede deberse al efecto de la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos insaturados, al ser saturados y depositados en el musculo. Sin embargo, en el estudio

realizado por Hernández (1996), no se analizó el perfil de ácidos grasos de la carne obtenida, dejando la pauta para considerar investigaciones sobre esta área de la producción animal.

La importancia de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* como fuente de oleico radica en que existe un aporte considerable de este ácido graso, ya que por cada gramo del producto, se reportan 36 mg de oleico, según porcentajes referidos en las investigaciones de Pilkington y Rose (1989), quienes encontraron niveles de ácido oleico que van desde 20.3 a 30.0 % para las cepas NCYC⁴³¹ y TC8, respectivamente. Asimismo, Watson y Rose (1980) reportaron un rango del 40.3 a 48.2 % a diferentes densidades de población, y Cortés *et al.* (2009) encontraron niveles de 40.9 % de oleico en *Sc*. En este sentido, la inclusión de esta levadura en la dieta de rumiantes podría ser una estrategia para mejorar el perfil de ácidos grasos de la carne producida por estas especies considerando que la industria cervecera nacional produce grandes cantidades de este subproducto a bajo precio.

3. OBJETIVOS

Evaluar la fermentación ruminal y el comportamiento productivo de corderos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*.

Determinar el perfil de ácido oleico en el tejido muscular de corderos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*.

Valorar los niveles séricos de colesterol en corderos alimentados con niveles crecientes de *Saccharomyces cerevisiae*.

4. HIPÓTESIS

La adicción de niveles crecientes de levadura *Saccharomyces cerevisiae* en una dieta para corderos en crecimiento mejorara parámetros ruminales como el pH, nitrógeno amoniacal y AGV, parámetros de comportamiento como consumo de materia seca, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia, características de la canal como área del musculo *Longissimus dorsi* y espesor de grasa dorsal.

La adicción de niveles crecientes de levadura *Saccharomyces cerevisiae* en una dieta para corderos en crecimiento incrementara la deposición de ácido oleico en el tejido muscular produciendo carne de alto valor nutricional

Niveles crecientes de *Saccharomyces cerevisiae* en una dieta comercial para corderos en crecimiento disminuirán los niveles séricos de colesterol.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

El presente estudio se realizó en la granja experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado en las coordenadas 9° 21' de Latitud Norte y 98° 53' de Longitud Oeste, a una altura de 2250 metros sobre el nivel del mar. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación promedio anual es de 644.8 mm, y la temperatura media anual es de 15°C (García, 1988).

5.2. Periodo experimental

El experimento tuvo una duración de 60 días, previo periodo de adaptación a la dieta experimental de 10 días.

5.3. Animales

Se utilizaron 30 borregos criollos machos de 20 ± 0.9 kg PV inicial, los cuales fueron desparasitados al inicio del experimento y 7 d después de la primera aplicación con Ivomec – F[®] a una dosis de 1 mL 50 kg⁻¹ PV vía subcutánea y vitaminados con Vigantol B[®] (complejo B) a una dosis de 2 mL 45kg⁻¹ PV vía intramuscular y Vigantol ADE Fuerte[®] a una dosis de 2 mL animal⁻¹ vía intramuscular. Los animales fueron distribuidos aleatoriamente en jaulas individuales de metal con 1.7 m de largo x .7 m de ancho y 1 m de alto, además contaban con piso de concreto. Se ofreció agua a libre acceso y el alimento fue aportado dos veces al día (9:00 y 16:00 h).

5.4. Tratamientos

Los tratamientos experimentales evaluados en este estudio se presentan en el Cuadro 4, donde la principal variante fue el nivel de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*).

Cuadro 4. Tratamientos experimentales

Tratamiento (T)	Descripción
T1	Testigo, dieta para crecimiento (5 % PV)
T2	T1 + 3 g de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> * animal ⁻¹ d ⁻¹
T3	T1 + 5 g de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> animal ⁻¹ d ⁻¹

* Se utilizó la cepa *Yea - Sacc*¹⁰²⁶ (cultivo vivo de *Saccharomyces cerevisiae*, con un mínimo de 10⁸ UFC g⁻¹, cada gramo de MS de *S. cerevisiae* aportó 36 mg de ácido oleico (Cortés *et al.*, 2009)

5.5. Dieta experimental

Se utilizó una dieta comercial (Cordero plus[®], Grupo Unión) para corderos en crecimiento con una composición proximal de 91.74 % de materia seca, 85.35 % de materia orgánica, 35.47 % de fibra detergente neutro, 13.83 % de fibra detergente ácida y 15.71 % de proteína total. A la dieta comercial ofrecida se le adicionaron dos niveles (3 y 5 g d⁻¹) de levadura *Saccharomyces cerevisiae*¹⁰²⁶ (Alltech de México) administradas directamente al animal vía oral en forma de pellets, con el fin de asegurar que el animal ingiriera la dosis completa.

Muestras de la dieta experimental ofrecida y del rechazo fueron colectadas para determinarles el porcentaje de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína total (PT) de acuerdo a la metodología descrita por la AOAC (2000); la fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se evaluó siguiendo el método propuesto por Goering y Van Soest (1972). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal perteneciente al Posgrado de Ganadería del Colegio de Postgraduados.

5.6. Variables evaluadas

5.6.1. Consumo de materia seca del alimento (g d^{-1})

Se calculó como la diferencia entre el alimento ofrecido y el rechazado por día. Para ajustar los datos a materia seca, se obtuvo una muestra de alimento y se determinó su contenido de humedad.

5.6.2. Cambio de peso vivo (g d^{-1})

Se determinó mediante el pesaje de los animales al inicio del experimento y posteriormente cada 15 días (8:00 h), obteniendo el promedio del peso de tres días consecutivos. Cada pesaje realizado representó un periodo de evaluación.

5.6.3. Conversión alimenticia

Se calculó como la relación entre la cantidad de alimento consumido y la ganancia de peso vivo durante cada uno de los periodos de prueba.

5.6.4. Análisis bromatológico de la dieta experimental

Se evaluó el contenido de materia seca (MS), cenizas o materia inorgánica (MI), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA), proteína total (PT) y extracto etéreo (EE). La metodología para la determinación de estos componentes se describe a continuación:

5.6.4.1. Contenido de materia seca (MS) y cenizas

Se pesó 1 g de muestra y se colocó en un crisol de porcelana. Se depositó en una estufa a una temperatura de 100°C durante 24 h y se pesó para determinar el

contenido de humedad. Posteriormente el crisol se depositó en una mufla y se incineró a una temperatura de 200 °C por 12 h. Transcurrido el tiempo, el crisol se sacó de la mufla a una temperatura menor a 100 °C y se colocó nuevamente en un desecador para esperar a que se enfriara y llevara a peso constante.

Para determinar la cantidad de cenizas presentes en la muestra se utilizó la fórmula siguiente (AOAC, 2000):

$$\% \text{Cenizas} = \left(\frac{PCMS - PCC}{PMS} \right) \times 100$$

En dónde;

PCMS = Peso del crisol + muestra seca

PCC = Peso del crisol + cenizas

PMS = Peso de la muestra seca

5.6.4.2. Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)

Para la determinación de FDN y FDA se utilizó el método propuesto por Goering y Van Soest (1972). Se depositaron 0.3 g de muestra, en un tubo de ensayo al que se le agregaron 30 mL de detergente según fuera el caso de la muestra (neutro o ácido), y dependiendo del contenido de grano que tuviera, se le agregó 0.5 mL de amilasa Takatarn (*Bacillus licheniformis* L – 340). Posteriormente la muestra fue llevada a un bloque de calentamiento en donde se dejó hervir (90 a 100 °C) por 1 h, cuidando que la muestra no formara espuma y se derramara. Al término de esto, la muestra fue filtrada (papel filtro Whatman ⁵⁴¹, previamente pesado) y colocada en un embudo conectado a una bomba de vacío. Se vertió la muestra contenida en el tubo sobre el papel filtro, enjuagando el tubo con agua caliente y procurando que no quedaran residuos. Las partículas filtradas en el papel fueron lavadas varias veces hasta que el remanente de detergente se eliminará, y en el caso de existir detergente residual, este fue diluido con una pequeña cantidad de acetona aplicada directamente a la muestra. Una vez que la

muestra terminó de filtrarse, se retiró el papel del embudo, se dobló y se colocó en una charola. Se llevó a una estufa de secado (55 °C) por 8 h, finalmente se sacó de la estufa con pinzas y se colocó en un desecador, se pesó la muestra y se registró.

Para calcular la FDA o FDN se usó la siguiente fórmula:

$$FDA = \left(\frac{PCF - PIC}{PS} \right) \times 100$$

$$FDN = \left(\frac{PCF - PIC}{PS} \right) \times 100$$

PCF = Peso del papel Whatman ⁵⁴¹ secado en la estufa + la fibra.

PIC = Peso inicial del papel Whatman ⁵⁴¹.

PS = Peso de la muestra secada en la estufa.

5.6.4.3. Proteína total

Se pesó 0.3 g de muestra y se depositó en un tubo de vidrio, adicionado con 1 g de catalizador y 3 mL de H₂SO₄ concentrado, la mezcla se llevó a un digestor donde se dejó digerir la materia orgánica hasta que la mezcla se tornara color verde claro; después el tubo se sacó del digestor y fue llevado a un micro destilador. El destilado se colectó en un matraz Erlen Meyer de 50 mL que contenía 6 mL de solución de ácido bórico al 4%. Se destiló hasta coleccionar 20 mL y se tituló con ácido clorhídrico al 0.1 N.

Para calcular la cantidad de nitrógeno total en la muestra se utilizó la siguiente fórmula (AOAC, 2000):

$$\% N = \left(\frac{(ml)(NHCl)(1.4)}{PMG} \right)$$

En dónde;

- a) Un mililitro de HCl al 0.1 N = ml de ácido gastados en la muestra.
- b) Normalidad del ácido clorhídrico: 0.1067
- c) PMG = peso de la muestra en gramos.
- d) Para calcular proteína total = % N * 6.25
- e) 1.4 = peso del amoniacó en mili equivalentes

5.6.4.4. Extracto etéreo

Para la determinación del extracto etéreo se utilizó la metodología descrita por (Nielsen, 2010), se colocó un vaso colector de grasa en una estufa a 110 °C durante una hora, una vez concluido el tiempo se sacó e introdujo en un desecador para llevarse a peso constante. Se pesó un gramo de muestra sobre papel filtro el cual se dobló e introdujo en un dedal limpio que a su vez se colocó en un porta dedal fijándose a los soportes metálicos del aparato Goldfish. En el vaso, previamente pesado, se agregó 25 mL de éter de petróleo, y se fijo al condensador usando un anillo con rosca, apretando lo mejor posible, con el fin de evitar fugas de éter. Se abrió la llave de agua para enfriar y condensar, se levantó la parrilla caliente hasta tocar el vaso y se dejó hervir la muestra alrededor de seis horas.

Al término del tiempo se apagó la parrilla, cuando el éter dejó de gotear, se retiró el vaso y la muestra, colocando un vaso colector de éter en lugar del porta dedal con la muestra, se encendió el aparato Goldfish a modo de colectar el total de éter. El vaso se llevó a la estufa para dejarse secar durante 12 horas y llevarlo a peso constante y pesarlo.

Para calcular el porcentaje de EE en base seca se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% EE = \frac{gEE}{gMS}$$

% EE = porcentaje de extracto etéreo

g EE = gramos de extracto etéreo

g MS = gramos de materia seca

5.6.5. Digestibilidad aparente

Se colectó el total de heces y alimento rechazado por cada uno de los borregos en tratamiento durante tres días al final del experimento, las muestras de heces se conservaron en refrigeración a 4°C para su posterior análisis por cenizas insolubles en ácido clorhídrico como marcador interno (Geerken *et al.*, 1987). Para la determinación de la digestibilidad se utilizó el método de colección total de heces propuesto por Harris (1970). Para el análisis de las muestras de heces, así como las del alimento rechazado, se procedió a secarlas en una estufa para llevarlas a peso constante; una vez secas se molieron y se procedió a la determinación de la digestibilidad aparente (%) de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína total (PT), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA).

5.6.5.1. Método de cenizas insolubles en ácido

Para desarrollar este método se procedió en base a lo propuesto por Geerken *et al.* (1987). Las heces previamente conservadas, fueron puestas a temperatura ambiente para su descongelación y consiguiente secado en estufa, por un mínimo de 24 h, evitando la formación de hongos durante este proceso; una vez secas, se pesó 5 g de muestra por duplicado y se colocaron en un crisol para cenizas de 50 mL, previamente pesado. El crisol con la muestra se dejó secar por un periodo de 12 h a 100 °C. Posteriormente, los crisoles se volvieron a pesar.

Los crisoles se sometieron a incineración en una mufla a 450 °C, por 5 h. Las cenizas resultantes fueron transferidas a un vaso de 600 mL, se agregaron 100 mL de HCl 2N y estuvieron en ebullición por 5 min. Se filtró el hidrolizado caliente a través de un papel filtro Whatman 541 y se lavó con agua destilada caliente.

Se transfirió el papel filtro dentro del crisol y se volvió a introducir junto con el crisol, a la mufla a 450 °C por 5 h. Posteriormente, los crisoles se colocaron en una estufa a 100 °C, y luego fueron colocados en un desecador y pesados, para finalmente determinar el porcentaje de cenizas insolubles en ácido, mediante la siguiente formula Geerken *et al.* (1987):

$$CIA(\%) = \left(\frac{PCC - PC}{PM} \right) \times 100$$

En dónde;

CIA = Cenizas insolubles en ácido

PCC = Peso del crisol + cenizas

PC = Peso del crisol

PM = Peso de la muestra

5.6.6. Concentración de nitrógeno amoniacal

Para esta determinación se utilizó la técnica de McCulloch (1967), empleando 1.5 mL de liquido ruminal más 0.35 mL de ácido metafosfórico al 25%, se centrifugó el liquido ruminal diluido a 10,000 x g durante 10 min en una centrifuga EBA 21 de Hettich, se recuperó el sobrenadante y se congeló a -4°C hasta el momento de ser analizado. Para su análisis se tomaron 20 µL de muestra, se depositaron en tubos (13x10 mm) y se adicionó 1 mL de fenol y 1 mL de hipoclorito de sodio basificado con hidróxido de sodio en el orden indicado, los tubos se incubaron a 37°C durante 30 min y luego se diluyeron en 5 mL de agua destilada. La concentración de amoniaco se midió en un fotocolorímetro modelo Varian Marca CARY 1E a 630 nm. Se utilizó un blanco como referencia, el cual contenía 1 mL de fenol, 1 mL de hipoclorito de sodio y 5 mL de agua destilada. Para conocer la concentración final de nitrógeno amoniacal, se comparó con una curva estándar, calculada con diferentes concentraciones de amoniaco, los valores se reportaron en mg dL⁻¹.

5.6.7. Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV)

Se determinó una vez acidificado el líquido ruminal con ácido metafosfórico, en una proporción 4:1 (muestra: ácido metafosfórico). La muestra se centrifugo a 14 000 x g por 15 minutos y se recolecto el sobrenadante (1.5 mL). La concentración de AGV de las muestras se determino por cromatografía de gases en un cromatógrafo Perkin Elmer, Modelo Claurus 500 con columna capilar Elite FFAP. El gas acarreador fue hidrogeno con flujo de 15 mL min⁻¹. Se inyectó 1 µL de muestra, con temperatura de inyector de 200°C, detector de 250°C y una temperatura de horno de 140°C. El tiempo total por corrida fue de 7 min.

5.6.8. Colesterol en plasma sanguíneo

Se tomó una muestra de sangre de cinco animales por tratamiento, con el fin de evaluar los niveles de colesterol en plasma sanguíneo. La extracción de sangre se realizó en la vena yugular del animal, con agujas y tubos vacutainer, e inmediatamente se almacenó en un contenedor con hielo, para llevarla a laboratorio y centrifugarla a 3200 x g, durante 20 min con la finalidad de extraer el suero sanguíneo, mismo que fue congelado a una temperatura menor a 0 °C para su posterior análisis.

Para la determinación de los niveles de colesterol en el suero sanguíneo se utilizó el método enzimático de punto final, cuyo principio consistió en determinar el colesterol después de hidrólisis enzimática y oxidación. El indicador quinoneimina se formó a partir de peróxido de hidrógeno y 4 – amino antipirina en presencia de fenol y Peroxidasa (Trinder, 1969).

Se utilizó un reactivo blanco con 20 µL de agua destilada y 2000 µL de reactivo, que sirvió como muestra estándar, para la determinación por espectrofotometría fue necesario un patrón el cual consistió de 20 µL del reactivo patrón y 2000 µL de reactivo estándar, el cual sirvió para determinar la concentración sérica de colesterol de la muestra, la cual contenía 20 µL de suero o plasma sanguíneo y 2000 µL del reactivo.

La concentración de la muestra se midió (mg dL^{-1}) en un espectrofotómetro Marca Varian Modelo CARY 1E a 505 nm (Trinder, 1969).

5.6.9. Perfil de ácidos grasos en músculo

Para determinar esta variable, cinco animales por tratamiento fueron sacrificados al final del experimento con el fin de determinar la deposición de ácidos grasos en tejido muscular (musculo *Longissimus dorsi*).

El procedimiento para determinar la concentración de ácidos grasos en carne se llevó a cabo con base al método descrito por Folch *et al.* (1957). Se hicieron trozos de las muestras de carne de los borregos. Se pesaron 5 g de muestra y se colocaron en tubos de 1.8 x 16 cm, a los cuales se le agregaron 6 mL de la mezcla cloroformo: metanol (2:1 v: v), posteriormente se llevó al vortex durante 1 min repitiendo el proceso cada 7 min en un intervalo de 28 min. Mientras tanto se colocaron embudos de vidrio en tubos de 10 mL y papel filtro # 1 con un diámetro de 3 cm sobre los embudos, se identificaron los tubos eppendorf y los viales.

Con una espátula se exprimió la mezcla dentro del tubo y el líquido resultante se decantó y filtro en los tubos con embudo y papel filtro; esta mezcla resultante se separó en dos capas indicando la presencia de lípidos. Se agregaron 200 μL de NaCl al 0.9 % por cada 1 mL de mezcla y se volvió a mezclar con un vórtex durante 1 minuto.

Los tubos con la mezcla filtrada se colocaron en una gradilla, se dejaron reposar, para formar dos capas, se tomó 1 mL de la capa inferior y se colocó en el fondo de un tubo de 1.8 x 16 cm para ser secados con nitrógeno, en baño maría a 55 °C, usando una bomba de vacío, se agregó 1 mL de hexano a los tubos con la muestra seca a fin de recuperar los lípidos, los cuales, junto con el hexano se colectaron y colocaron en tubos Eppendorf donde se les agregaron 100 μL de la mezcla de KOH en metanol saturada, se volvió a mezclar en el vórtex y se centrifugo durante 5 min a 3000 x g. De las dos capas resultantes, se tomó la superior y se depositó en un vial para cromatografía de

gases, se preparó un estándar externo con numero de catalogo 18918 FAME, mezcla C8 - C24 de SUPELCO

Se utilizo un cromatógrafo de gases marca HP 6890 con un inyector HP 7683 y una charola de muestras automáticas, con una columna Marca Supelco SPTM 2560 con dimensiones de 100 x 0.25 mm x 0.2 µm (película) a una presión de 29 psi. Las condiciones del detector fueron: flujo de aire de 350 mL min⁻¹, flujo de H₂ de 35 mL min⁻¹ y una temperatura de 260 °C, las condiciones del inyector son: helio como gas acarreador con un Make up de 18 mL min⁻¹ a una presión de 29 psi. Las condiciones del horno fueron: temperatura de 260°C a un tiempo de 76 min en base a las condiciones que se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Temperatura de la rampa del horno para la determinación de ácidos grasos de cadena larga

	Velocidad, °C min ⁻¹	Temperatura, °C	Tiempo, min
Rampa 1	1.00	110	1.00
Rampa 2	10.00	160	5.00
Rampa 3	5.00	190	1.00
Rampa 4	0.50	200	20.00
Rampa 5	5.00	240	10.00

5.6.10. Grasa dorsal y área del músculo *Longissimus dorsi*

Se utilizó un equipo de ultrasonografía Sonovet 600 (Universal Medical System, Inc.) con un transductor de 7.5 Mhz. Con el fin de facilitar que el transductor del ultrasonido estuviese en contacto directo con la piel del animal, los animales fueron previamente rasurados a la altura de la 12^a y 13^a costilla, adicionalmente se aplicó gel a base de agua para facilitar la lectura. Los resultados de las lecturas se obtuvieron en milímetros para grasa dorsal y milímetros cuadrados para el área del ojo de la costilla (Delfa *et al.*, 1995).

5.7. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y diez repeticiones por tratamiento, a excepción del perfil de ácidos grasos en la carne, donde solo se utilizaron 5 repeticiones por tratamiento. Los datos se analizaron mediante un procedimiento PROC GLM de SAS (SAS, 2004). Para el análisis de las variables GDP, consumo de MS, conversión alimenticia y digestibilidad se utilizó el peso vivo inicial de los animales como covariable. La comparación múltiple de medias de tratamientos se realizó mediante la prueba de Tukey.

El Modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta (X_{ij} - X_{...}) + \xi_{ij} \text{ usando covariable}$$

Dónde: Y_{ij} = observación j-ésima bajo el tratamiento i-ésimo

μ = media general

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento

ξ_{ij} = error experimental

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Prueba de comportamiento

6.1.1. Consumo

La respuesta de corderos en crecimiento al consumo de materia seca con la adición de diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae* se presenta en el Cuadro 6. Los resultados muestran que la adición de 3 g d⁻¹ de *Sc* redujo ($P < 0.05$) el consumo de materia seca con respecto al grupo testigo durante el segundo y cuarto periodo de evaluación. Así mismo, para la media general, el consumo de MS fue de 1.22 kg d⁻¹ con 3 g d⁻¹ de *Sc* vs 1.25 kg d⁻¹ del grupo testigo. No obstante, la falta de respuesta ($P > 0.05$) en esta variable con la adición de 5 g d⁻¹ de *Sc* (T3) puede estar determinada por factores como el tipo de alimentación. Kawas *et al.* (2007) explican que hay un mayor consumo de MS por efecto de *Sc* en dietas a base de forraje, que a base de concentrado, en donde el rumen requiere un estado óptimo para el adecuado funcionamiento de su flora bacteriana y una relación energía - proteína que permita optimizar la absorción de nutrientes sin la presencia de acidosis causada por la presencia de granos en la dieta (Gasque, 2008).

Los cambios observados en el consumo de MS al adicionar 3 g d⁻¹ de *Sc* se pueden explicar por la contribución que tiene la levadura al optimizar el aprovechamiento de los nutrientes, previniendo desordenes en la flora ruminal y disturbios ocasionados por dietas altas en concentrado (Fonty y Chauckeyras, 2006), permitiendo cubrir los requerimientos nutricionales con menor cantidad de materia seca (Moya *et al.*, 2009), debido a que *Sc* es capaz de modificar las variables ruminales, estimulando el crecimiento de las bacterias celulolíticas, mismas que al maximizar su función, incrementan los nutrientes disponibles para el animal, mejorando sus estándares productivos (Newbold *et al.*, 1996; Di Francia *et al.*, 2008). Este comportamiento coincide con lo encontrado por Junipper *et al.* (2008) quienes reportaron un menor consumo de materia seca al suplementar *Sc* con respecto al grupo testigo (0.952 kg d⁻¹ MS vs 1.026 kg d⁻¹ respectivamente).

Cuadro 6. Consumo de materia seca (kg d⁻¹) de corderos en crecimiento alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Tratamiento	Periodos de evaluación ^ϕ				Media general
	1	2	3	4	
T1	1.14 ^a	1.19 ^a	1.31 ^a	1.35 ^a	1.25 ^a
T2	1.13 ^a	1.17 ^b	1.29 ^a	1.29 ^b	1.22 ^b
T3	1.16 ^a	1.18 ^{ab}	1.28 ^a	1.32 ^{ab}	1.23 ^{ab}
CV	3.04	1.08	2.42	3.96	1.87

^ϕ Cada periodo de evaluación tuvo una duración de 15 días.

T1: Testigo, 0 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

a, b: medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística (P<0.05).

CV: Coeficiente de variación (%).

En contraste, Haddad y Goussous (2005) y Macedo *et al.* (2006) indican que *Sc* no afectó el consumo de MS en corderos; mientras que Macedo *et al.* (2006) y Moya *et al.* (2009) reiteran el mismo efecto para ganado lechero. La variabilidad entre resultados puede estar relacionada con el tipo de dieta ofrecida, el número de células viables en *Sc* y las dosis suplementadas (Kawas *et al.*, 2007), ya que en rumiantes se han reportado que solo es posible encontrar mejoras en el consumo de MS a dosis de 10 y 20 g d⁻¹ de *Sc* en ganado lechero (Wohlt *et al.*, 1998).

6.1.2. Ganancia diaria de peso (GDP)

Los resultados obtenidos para la ganancia diaria de peso (GDP) se presentan en el cuadro 7. Los resultados de peso registrados para cada tratamiento no permitieron evidenciar diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos evaluados con la adición de *Saccharomyces cerevisiae*.

Reportes en la literatura indican que los corderos en un sistema de explotación intensivo tienen ganancias de peso de 200 a 300 g animal⁻¹ d⁻¹ (Medina *et al.*, 2004), estas ganancias, son congruentes con las observadas en el presente estudio con valores de 235.05 g d⁻¹, 209.89 g d⁻¹ y 224.87 g d⁻¹ para el T1, T2 y T3 respectivamente. Según el NRC (2007) la proteína en la dieta juega un papel esencial en la ganancia diaria de peso, y sus valores deben oscilar entre un 15 y 17% para que el animal pueda manifestar su potencial genético. Ha sido documentado que *Sc* mejora la ganancia de peso en corderos alimentados con dietas bajas en proteína (< 15% PC). Sin embargo, en dietas altas (> 15%), su acción se ve reducida (Harrison *et al.*, 1988). Algunos reportes en forma aislada corroboran esta hipótesis, tal es el caso del estudio desarrollado por Bonilla *et al.* (1992), quienes observaron una mejora en la GDP al utilizar forraje con bajo nivel de proteína (rastrojo de maíz enmelazado), el cual fue adicionado con 5 g d⁻¹ de *Sc* en la dieta de borregos Pelibuey.

Cuadro 7. Ganancia diaria de peso (g d^{-1}) de corderos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Tratamiento	Periodos de evaluación ^φ				Media general
	1	2	3	4	
T1	217.09 ^a	228.15 ^a	223.63 ^a	271.32 ^a	235.05 ^a
T2	188.7 ^a	221.75 ^a	193.72 ^a	325.4 ^a	209.89 ^a
T3	197.36 ^a	231.72 ^a	215.89 ^a	254.53 ^a	224.87 ^a
CV	34.75	23.2	22.6	24.7	12.54

^φ Cada periodo de evaluación tuvo una duración de 15 días.

T1: Testigo, 0 g d^{-1} *Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d^{-1} *Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d^{-1} *Saccharomyces cerevisiae*.

a : medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística ($P < 0.05$).

CV: Coeficiente de variación (%).

En el presente estudio los valores de GDP no fueron significativos, aunado a que los valores de proteína en la dieta ofrecida a los corderos era de 15.7 %, coincidiendo con lo reportado por Titi *et al.* (2008) quien al ofrecer una dieta con 16.8 % de proteína cruda obtuvo valores semejantes entre el grupo testigo y el tratamiento con *Sc* (12.6 g kg⁻¹ MS) (261 y 266 g d⁻¹, respectivamente).

Aunque se menciona que los estándares productivos del rumiante se ven mejorados por el efecto de los cultivos de levadura al mejorar la digestibilidad de los nutrientes por la manipulación de la fermentación ruminal, la respuesta al uso de *S. cerevisiae* no ha sido consistente. La GDP está directamente relacionada con los incrementos en el consumo de alimento, al incrementarse la digestibilidad de la fibra, por efecto de una mayor actividad bacteriana (Bouda *et al.*, 1997). No obstante, el comportamiento del T2 mostró una tendencia negativa en el consumo de MS, al mostrar el nivel más bajo, pero sin afectar la GDP, manteniendo esta variable dentro del intervalo observado en estudios similares (Mendoza *et al.*, 2007).

6.1.3. Conversión alimenticia

La respuesta observada en la conversión alimenticia (Cuadro 8) a la suplementación con *Sc* en la dieta de corderos, no generó diferencias ($P < 0.05$) entre tratamientos. Aunque la media general del tratamiento con 5 g d⁻¹ de *Sc* (T3) muestra una tendencia a optimizar el alimento consumido para transformarlo en peso vivo, no existe evidencia estadística para establecer cambios significativos.

Congruente con los resultados obtenidos en este experimento, en ensayos similares tampoco se observó respuesta en la conversión alimenticia por efecto de la suplementación con *S. cerevisiae*, cuando se utilizó 1.23 g animal⁻¹ d⁻¹ (Macedo *et al.*, 2006) o 2 g animal⁻¹ d⁻¹ (Payandeh y Kafilzadeh, 2007) de la levadura.

Cuadro 8. Conversión alimenticia de corderos en crecimiento alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Tratamiento (T)	Periodos de evaluación ^φ			Media general
	1	2	3	
T1	5.50 ^a	5.76 ^a	6.48 ^a	5.91 ^a
T2	5.31 ^a	6.32 ^a	8.30 ^a	6.64 ^a
T3	5.20 ^a	5.59 ^a	6.50 ^a	5.76 ^a
CV	27.55	23.37	26.21	13.75

^φ Cada periodo de evaluación tuvo una duración de 15 días.

a : medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística ($P < 0.05$).

T1: Testigo, 0 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

CV: Coeficiente de variación (%)

En contraste, Haddad y Goussous (2005) y Abdelrahman y Hunaiti (2008) encontraron una mejora en la conversión alimenticia de corderos en crecimiento al suplementar 3 y 6 g d⁻¹ y 2 g d⁻¹ de *Sc*, respectivamente. En este sentido, la falta de cambios entre tratamientos, en el consumo de materia seca y ganancia diaria de peso, hacen concluyente una falta en la respuesta de la conversión alimenticia.

6.2. Digestibilidad aparente

Los resultados obtenidos indican que la digestibilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), fibra detergente neutro (FDN) y proteína cruda (PC) no son diferentes ($P > 0.05$; Cuadro 9) entre tratamientos. Lo que concuerda con Tripathi y Karim (2010), quienes no encontraron efectos en la digestibilidad de las fracciones del alimento al evaluar en borregos diferentes cepas de levaduras vivas en dosis de 1 mL kg⁻¹ PV. En contraste hay otros estudios que indican cambios significativos en la degradación ruminal del alimento al dosificar *Sc* a niveles de 3 y 6 g d⁻¹ (Haddad y Goussous, 2005). Desnoyers *et al.* (2009) y Lascano *et al.* (2009) reportan altos niveles de digestibilidad de la MS y MO en vaquillas, cuando se adiciona *Sc*.

Cuadro 9. Digestibilidad aparente (%) de los corderos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Tratamiento (T)	MS	MO	FDN	FDA	PC
T1	82.27 ^a	79.22 ^a	75.06 ^a	63.59 ^{ab}	81.70 ^a
T2	81.51 ^a	78.34 ^a	75.98 ^a	66.26 ^a	79.86 ^a
T3	80.92 ^a	77.64 ^a	72.78 ^a	60.58 ^b	78.86 ^a
CV	2.53	3.09	3.76	6.27	4.29

MS: materia seca, MO: materia orgánica, FDN: fibra detergente neutra, FDA: fibra detergente ácido, PC: proteína cruda.

a, b: medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística ($P < 0.05$).

T1: Testigo, 0 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

CV: Coeficiente de variación.

Al respecto, Robinson y Erasmus (2009) señalan que al adicionar *Sc* en la dieta de rumiantes, se incrementa la digestibilidad de la materia seca y FDN. Asimismo, Lascano *et al.* (2009) relacionan el efecto de *Sc* con una mejora en la digestibilidad de la materia orgánica y FDN. Sin embargo, la digestibilidad de la proteína no parece ser afectada por *Sc*.

En otro estudio, Titi *et al.* (2008) reportaron un incremento de la digestibilidad de la MO y la FDA por efecto de *Sc*, como resultado de un aumento en la concentración de bacterias celulolíticas del rumen. Por lo que, Harrison *et al.* (1988) cuestionaron estos resultados, al señalar que si bien, la levadura estimulaba el incremento de bacterias celulolíticas, la actividad de estas se veía disminuida cuando la concentración de ácidos grasos volátiles se elevaba y el medio ruminal se acidificaba, explicando que en el presente experimento se observara una disminución ($P < 0.05$) de 8.57 % en la digestibilidad de la fibra detergente ácido (FDA) al cambiar el nivel de levadura de 3 (T2) a 5 g animal⁻¹ d⁻¹ (T3). Mientras que en ensayos similares, donde la evaluación de *Sc* vario únicamente con la adición de bicarbonato de sodio, no se produjeron cambios en los niveles de digestibilidad de FDA y FDN en corderos en finalización, destacando que características como el ambiente ruminal, población microbiana, factores nutricionales, la forma física del alimento, contenido de lignina, carbohidratos, minerales y contenido de nitrógeno pueden variar la digestibilidad de los componentes del alimento (Kawas *et al.*, 2007).

6.3. Variables Ruminales

6.3.1. Ácidos grasos volátiles (AGV)

Las concentraciones de AGV determinadas en líquido ruminal de borregos suplementados con diferente nivel de *Sc* se presentan en el Cuadro 10. No se detectaron diferencias ($P > 0.05$) en las concentraciones de acético, propiónico y butírico, en la concentración total de AGV y la relación acético: propiónico entre los tratamientos evaluados. Estos resultados, difieren de los reportados por Moya *et al.* (2009), quienes

Cuadro 10. Concentración de ácidos grasos volátiles (mmol L⁻¹) en líquido ruminal de borregos alimentados a diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae* después de 60 días de evaluación.

Tratamiento (T)	Acetato	Propionato	Butirato	Total	A : P
T1	31.09 ^a	30.98 ^a	3.76 ^a	65.84 ^a	0.99 ^a
T2	28.77 ^a	24.92 ^a	3.57 ^a	57.27 ^a	1.34 ^a
T3	34.62 ^a	26.11 ^a	7.24 ^a	67.98 ^a	1.49 ^a
EE	3.97	4.33	1.53	8.15	0.24

a: medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística (P<0.05).

T1: Testigo, 0 g d⁻¹*Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹*Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹*Saccharomyces cerevisiae*

A:P = relación acetato : propionato

EE: Error estándar.

han documentado que *Sc* (14 g d⁻¹) genera efectos sobre la fermentación microbiana ruminal en vaquillas, al incrementar los niveles de AGV debido a una mayor eficiencia en la fermentación de la dieta. Asumiéndose, que existe una relación directa entre la concentración molar de AGV y pH (Seymour *et al.*, 2005).

Sin embargo, es importante destacar que el modo de acción de *Sc* se basa en la disminución de lactato en dietas altas en concentrado, por la inhibición de bacterias como *Streptococcus bovis* y la estimulación de bacterias utilizadoras de ácidos orgánicos como *Megasphaera elsdenii* que evitan una acumulación de AGV y lactato en el rumen, así como la acidificación del pH ruminal (Lynch y Martin, 2002; Moya *et al.*, 2009).

Aunque los efectos de *Sc* sobre los niveles de AGV suelen ser inconsistentes, se han observado aumentos en la producción de propionato y butirato, sin afectar la producción de acetato con niveles de 2.3 mg *Sc* g⁻¹ MS (Miller *et al.*, 2002). También se han reportado en estudios *in vitro*, incrementos en la concentración total de AGV con *Sc*, sin diferencias en la producción individual de AGV (Lila *et al.*, 2004). En otro estudio *Sc* afectó la concentración molar de butirato, como resultado de una mayor digestibilidad de los componentes del alimento a través de una mayor eficiencia y producción de la microflora ruminal (Yoon y Stern, 1996), pero no la concentración total de los ácidos grasos volátiles (Corona *et al.*, 1999). Estos resultados son congruentes con los observados en este estudio, en donde el nivel de butirato para el tratamiento con 5 g d⁻¹ de *Sc* reportó 7.24 mmol L⁻¹, en comparación con los 3.76 y 3.57 mmol L⁻¹ del T1 (grupo testigo) y T2 (3 g d⁻¹ *Sc*), respectivamente, sin que existieran diferencias estadísticas entre las diferentes proporciones de AGV, que bajo cualquier régimen de alimentación se rigen primeramente de acético, seguido de propiónico y finalmente butírico (Church, 1991). Mientras que autores como Thrune *et al.* (2009) reportaron una tendencia negativa en la producción de AGV cuando se suplementaba *Sc*, atribuyéndolo a la mejoría del pH. Por otro lado, los valores reportados para la relación acetato: propionato de nuestro estudio, se pueden explicar con la cantidad de carbohidratos solubles aportados en dietas altas en concentrado que son ofrecidas al animal, es decir, la relación acetato: propionato es menor cuando se fermenta almidón, y dicha relación

estará condicionada por el pH ruminal, observándose menor proporción de acetato: propionato a pH de 5.7 que aun pH neutro, resaltando que la formación de propionato requiere H₂, lo que incrementa la acidez ruminal (Ellis *et al.*, 2008).

6.3.2. Nitrógeno amoniacal

La suplementación con diferentes niveles de *Sc* en la dieta de corderos en crecimiento, no produjo cambios significativos ($P > 0,05$; Cuadro 11) sobre los niveles de nitrógeno amoniacal (N–NH₃) después de 60 días de alimentación. Los resultados son diferentes a los reportados por Jouany *et al.* (1998), quienes confirman el efecto estimulante de *Sc* (50 mg d⁻¹) sobre la producción de N–NH₃ debido a que *Sc* tiende a incrementar la actividad microbiana ruminal después de la ingestión de alimento, derivando en la descomposición de proteínas a esqueletos carbonados y amoniaco (Throne *et al.*, 2009). La concentración de nitrógeno amoniacal en el medio ruminal es muy variada y esta influenciada por factores como el contenido de proteína en la dieta y la eficiencia en la degradación microbiana de la proteína, la absorción de N–H₃ a través de la pared ruminal y su incorporación a la proteína microbiana (Abdoun *et al.*, 2007). Por ejemplo, dietas con bajo contenido proteico se relacionan con baja cantidad de nitrógeno amoniacal en el rumen (Buxadé, 1995).

Cuadro 11. Concentración de nitrógeno amoniacal (mg dL⁻¹) en liquido ruminal de borregos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Tratamiento (T)	NH ₃	CV
T1	5.87 ^a	58.00
T2	9.19 ^a	
T3	8.55 ^a	

a: medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística ($P < 0.05$).

NH₃: Nitrógeno amoniacal.

T1: Testigo, 0 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

CV: Coeficiente de Variación.

Sin embargo, la variabilidad entre las concentraciones de nitrógeno amoniacal del presente estudio (5.87, 9.19, y 8.55 mg dL⁻¹ con dosis de 0, 3 y 5 g d⁻¹ de *Sc* respectivamente) pueden estar relacionadas por variables como el pH ruminal, el cual define la tasa de absorción del N-NH₃, observándose una absorción rápida a un pH de 6.5 o superior, y se torna drásticamente lenta o nula a un pH de 4.5 (Martineau *et al.*, 2011). Además la fermentación proteica de los microorganismos es eficiente a medida que el pH ruminal es más estable y mientras se mantenga dentro de un intervalo de 6.5 – 7.0 (Martineau *et al.*, 2011). En contraste, Hristov *et al.*, (2010) señalan efectos variables de *Sc* en la concentración de amonio a nivel ruminal.

6.3.3. pH

Los niveles de *Saccharomyces cerevisiae* (*Sc*) suplementados a la dieta de corderos no afectaron ($P < 0.05$; Cuadro 12) el pH ruminal entre tratamientos. Lo que se contrapone a lo encontrado por Bach *et al.* (2007) y Thrune *et al.* (2009) al reportar que *Sc* podía estabilizar el pH ruminal.

Cuadro 12. pH ruminal en borregos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Tratamiento (T)	pH	CV
T1	6.05 ^a	7.38
T2	6.28 ^a	
T3	6.23 ^a	

a: medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística ($P < 0.05$).

T1: Testigo, 0 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

CV: Coeficiente de variación.

Ante este escenario, se consideran aspectos que alteran la fluctuación del pH a nivel ruminal, considerando el tipo de alimento; cuando un rumiante consume dietas bajas en fibra masticará y salivará menos, provocando un descenso del pH, por la alta producción de AGV, este efecto es evidente a las 3 horas post alimentación y provoca variaciones de pH que pueden descender a niveles de 5.5 (Montalbetti, 2009). Por lo que dietas altas en forrajes tienen la posibilidad de incrementar el pH (Macedo *et al.*, 2009), mientras que en granos procesados, la depresión del pH es mayor y más rápida por la presencia de carbohidratos altamente fermentables (Beauchemin y Yang, 2005). Al respecto, la utilización de *Sc* como probiótico en la alimentación de rumiantes ha dado origen a investigaciones que evidencian una posible mejora de la estabilización de esta variable (Chaucheyras *et al.*, 2008; Tripathi y Karim, 2011). Ejemplo de estos trabajos es el desarrollado por Kumar *et al.* (1994), quienes proporcionaron 5 g d⁻¹ de *Sc* a búfalos en crecimiento, observando un incremento del pH y una disminución en la concentración de lactato, provocado por la estimulación en el crecimiento de bacterias ruminales; efecto que se relaciona con un incremento en la digestibilidad de la materia seca y en sinergia con ionóforos, permite disminuir la producción de lactato, y evitar una acumulación de AGV en el rumen (Moya *et al.*, 2009).

No obstante es recurrente encontrar investigaciones donde no se encontró efecto de la adición de *Sc* sobre el pH ruminal (Miller *et al.*, 2002; Lila *et al.*, 2004; Erasmus *et al.*, 2005), pero si un efecto de estabilización de la fermentación ruminal. Lo que coincide con en este trabajo, al señalar que a pesar de que no existió diferencia entre tratamientos, en el T2 y T3 el pH se mantuvo en niveles apropiados para el funcionamiento ruminal, a pesar de haberse evaluado una dieta alta en concentrado. Adicionalmente, Sales (2011) al realizar un meta análisis sobre el efecto de *Sc* sobre los parámetros ruminales, concluye que no existe efecto significativo de esta levadura sobre el pH. Sin embargo, la contrastante variabilidad entre resultados y beneficios de *Sc* en las investigaciones desarrolladas puede estar sujeta a factores como la viabilidad y tipo de cepa de la levadura o la naturaleza de la dieta, que son capaces de modificar el funcionamiento ruminal.

6.4. Variables productivas

6.4.1. Área del músculo *Longissimus dorsi*

Al medirse el área del músculo *Longissimus dorsi* (AML) en corderos en crecimiento, en tres periodos de evaluación, no se observaron diferencias ($P > 0.05$; Cuadro 13) entre tratamientos por efecto de la suplementación de *Sc* como un indicador de calidad de la canal. Este comportamiento fue similar para la media general.

Cuadro 13. Área del músculo *Longissimus dorsi* (mm^2) de corderos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Tratamiento (T)	Periodos de evaluación ^ϕ			Media general
	1	2	3	
T1	837.67 ^a	952.33 ^a	1028.44 ^a	939.48 ^a
T2	775.56 ^a	974.44 ^a	1020.67 ^a	890.22 ^a
T3	796.67 ^a	939.11 ^a	1048.67 ^a	928.14 ^a
CV	8.7	9.7	10.98	8.02

a: medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística ($P < 0.05$).

^ϕ cada periodo de evaluación tuvo una duración de 15 días.

T1: Testigo, 0 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

CV: Coeficiente de variación.

Congruente con los resultados obtenidos en el presente trabajo, Kawas *et al.* (2007), reportaron resultados similares en corderos finalizados, al determinar que el área del músculo *Longissimus dorsi* no cambiaba (1000 mm^2) con la suplementación de *Sc* a una dosis de 120 g kg^{-1} MS al compararlo con el grupo testigo (940 mm^2), además de mostrar valores muy similares a los observados en el tercer periodo de evaluación de este trabajo. De manera similar, en otro estudio donde se evaluó el crecimiento y calidad de la canal de novillos alimentados con dietas altas en forraje o concentrado, se encontró que *Sc* no cambiaba el área del ojo de la costilla (Mir y Mir, 1994). Esta variable es una de las principales características productivas de la canal (Sainz, 1996), y hoy en día es

considerada como un indicador directo y objetivo de la cantidad de tejido muscular, con respecto a la cantidad y calidad de grasa ingerida por el consumidor, y que se relaciona con enfermedades cardiovasculares (Orman *et al.*, 2008). En este sentido, se han evaluado fuentes alternas de energía (ácido oleico) que permitan mejorar la calidad de la canal de corderos en finalización. Sin embargo, se ha determinado que el área del músculo *Longissimus dorsi* se ve disminuida, a medida que se incrementan los niveles de espesor de grasa (Seabrook *et al.*, 2011).

No obstante, otros autores como Stanford *et al.* (2001) consideran que el área del músculo *Longissimus dorsi*, puede verse afectada por aspectos como la edad, peso y sexo del animal, reportando valores de 579 y 1082 mm² para machos de 60 y 135 días de crecimiento, respectivamente, lo que coincide con los valores obtenidos en este trabajo. Asimismo, Fernández *et al.* (1997) al evaluar esta variable en borregos de diferente edad y a diferente peso, encontraron cambios de 543 a 1071 mm² cuando el peso del animal cambiaba de 25 a 35 kg, respectivamente, valores congruentes a los obtenidos en el presente estudio; no obstante, los valores normales oscilan entre los 1400 y 1600 mm² y están influenciados por la raza del animal (Arbiza, 1996). Al respecto, Fernández *et al.* (1997) al utilizar ultrasonido como tecnología para predecir características productivas tales como índices musculares en animales vivos, midió el área del músculo en borregos de la raza Merino, Manchego y la cruce de estas, encontrando valores de 1011, 1100 y 1210 mm², respectivamente, destacando el vigor híbrido para la cruce de estas razas.

6.4.2. Espesor de grasa

Los niveles de espesor de grasa durante los tres periodos de evaluación tuvieron un comportamiento similar ($P > 0.05$; Cuadro 14) entre tratamientos. Los valores observados para esta variable oscilaron entre 2.0 y 3.0 mm, y la media general para el tratamiento T1, T2, y T3 fue de 2.25, 2.37 y 2.25 mm, respectivamente, sin existir diferencias estadísticas por efecto de *Sc* como fuente de ácido oleico.

Cuadro 14. Espesor de grasa dorsal (mm) de borregos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Tratamiento (T)	Periodo de evaluación ^ϕ			Media general
	1	2	3	
T1	2.0 ^a	2.11 ^a	2.66 ^a	2.25 ^a
T2	2.0 ^a	2.11 ^a	3.00 ^a	2.37 ^a
T3	2.0 ^a	2.00 ^a	2.77 ^a	2.25 ^a
CV	0	13.24	13.96	7.36

a : medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística ($P < 0.05$).

^ϕ Cada periodo de evaluación tuvo una duración de 15 días.

T1: Testigo, 0 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

CV: Coeficiente de variación.

No obstante, los niveles de espesor de grasa reportados en nuestro estudio, son inferiores a los reportados por Titi *et al.* (2008) quienes al evaluar el efecto de *Sc* en las características de la canal de corderos en finalización, reportaron espesores de grasa de 8.2 y 6.6 mm con y sin *Sc*, sin que estos datos representaran diferencias significativas. A pesar de estos resultados, en forma general es común encontrar mayor deposición de grasa dorsal cuando la alimentación es a base de concentrado, debido a la alta cantidad de carbohidratos solubles presentes en la dieta (Daniel *et al.*, 2004).

Otros autores han utilizado aceites como fuentes naturales de ácido oleico en la alimentación de corderos. Por ejemplo, Manso *et al.* (2009) encontraron valores de 3.1 a 3.7 mm de grasa en borregos Merino, sacrificados a 25 kg PV. Mientras que Macedo *et al.* (2000) reportó 1.7 mm para corderos terminados en estabulación. Así mismo, Seabrook *et al.* (2011) reportaron niveles de grasa dorsal inferiores (4.8 mm), al incluir 11% de ácido oleico y palmítico, con respecto al grupo testigo (6.6 mm). En tanto que, Arana *et al.* (2006) y Manso *et al.* (2009) adicionaron aceite de oliva como fuente natural de ácido oleico en dietas para corderos en engorda, sin reportar cambios en el espesor de grasa, lo que es congruente con lo encontrado en nuestro estudio, donde la

variabilidad de la deposición de grasa dorsal puede estar determinada por la proporción de ácidos grasos insaturados ingeridos en la dieta y que son saturados por la microflora ruminal durante el proceso de biohidrogenación, para finalmente ser absorbidos y depositados en el tejido adiposo del animal (Castro *et al.*, 2005).

Sin embargo, hay otros factores que afectan los cambios en la deposición de grasa a nivel dorsal, como la derivada en aquellos corderos que depositaron menor grasa al depositar mayor músculo en sus cuerpos a través de una mejor utilización de la energía y por lo tanto, una mayor síntesis de proteína, provocada por una mayor cantidad de proteína no degradada a nivel ruminal (Ponnampalam *et al.*, 2001), también el sexo del animal influye en esta variable, al observarse que las borregas presentan niveles superiores de espesor de grasa en comparación con los machos (Fernández *et al.*, 1997).

A pesar de la inconsistencia en los resultados con el uso de *Sc* en el espesor de grasa dorsal de corderos, el no haber detectado incrementos en la capa lipídica en este estudio, puede considerarse como un parámetro apropiado por el gasto energético que implica la síntesis de este tejido (Ponnampalam *et al.*, 2001) y por la capacidad genética del animal de generar carne de mejor calidad y baja en grasa, que permita prevenir problemas cardiovasculares al consumidor (Lara *et al.*, 2004).

6.5. Colesterol en plasma sanguíneo

Los valores de colesterol en plasma sanguíneo de los corderos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae* no mostraron cambios entre tratamientos ($P > 0.05$; Cuadro 15), al mantenerse concentraciones de 1.69, 1.52 y 1.7 mmol L⁻¹ para el T1, T2 y T3, respectivamente, valores que son congruentes a los reportados por Pal *et al.* (2010), quienes al suplementar *Sc* en cabras con niveles de 0, 15, y 30 g animal⁻¹ d⁻¹, no observaron efecto de la levadura sobre los niveles plasmáticos de colesterol, encontrando valores de 1.93, 1.90 y 1.92 mmol L⁻¹ respectivamente, aun cuando los niveles de suplementación de *Sc* fueron superiores a los evaluados en este estudio.

Cuadro 15. Niveles de colesterol total determinados en plasma sanguíneo de corderos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Tratamiento (T)	Colesterol, mmol L ⁻¹	CV
T1	1.69 ^a	33.32
T2	1.52 ^a	
T3	1.70 ^a	

a: medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística ($P < 0.05$).

T1: Testigo, 0 g d⁻¹*Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹*Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹*Saccharomyces cerevisiae*.

CV: Coeficiente de variación.

Estos resultados difieren a lo esperado, ya que se considera que *Sc* puede ser capaz de reducir los niveles plasmáticos de colesterol en corderos, debido a sus altos porcentajes de ácido oleico (40.1%) (Cortés *et al.*, 2009), el cual, debido a sus propiedades colesterolémicas, tiende a disminuir los niveles plasmáticos de este metabolito en corderos (Grundy, 1986; Van den Top *et al.*, 1994; Beynen *et al.*, 2000). Otros autores confirmaron la capacidad del ácido oleico para disminuir los niveles de colesterol, cuando desarrollaron estudios adicionando aceites vegetales (palma y oliva), aceite de pescado y harina de girasol como fuentes de ácidos grasos mono y poli insaturados (Beynen *et al.*, 2000; Ponnampalam *et al.*, 2001). Mientras que autores como Yeom *et al.* (2005) no observaron efectos de estos aceites sobre las concentraciones séricas de colesterol en corderos.

Es importante mencionar que factores como la dieta, el porcentaje de biohidrogenación de los ácidos grasos ingeridos y el consumo de energía pueden modificar las concentraciones séricas de colesterol; cuando el balance de energía es negativo, los niveles de colesterol se reducen (Beynen *et al.*, 2000). Coincidiendo con Park *et al.* (1991), quienes reportan que es común que los niveles de colesterol en plasma sanguíneo sean altos en corderos alimentados con dietas a base de concentrado, en comparación con dietas a base de forraje, originando canales con altos niveles de este metabolito, al adherirse lípidos a los tejidos intramusculares (Peter y Canfield, 1996).

No obstante, en este estudio al utilizarse una dieta alta en concentrado, los valores de colesterol plasmático coincidieron con los reportados por Merck (2000), quien menciona que las concentraciones normales de colesterol en plasma sanguíneo de corderos oscilan entre 1.61 y 4.98 mmol L⁻¹, y que además, estos niveles plasmáticos cambian a lo largo de la edad del animal, reportándose niveles de 1.55 a 4.97 mmol L⁻¹ para los primeros meses de edad, y de 1.55 a 2.01 mmol L⁻¹ a partir del tercer mes de crecimiento (Meyer *et al.*, 1996), quedando definidos antes de alcanzar la mitad de su peso adulto (Arsenos *et al.*, 2000).

Con base a los estudios consultados y previamente discutidos, y a los resultados obtenidos en este trabajo, se puede señalar que la suplementación con *Saccharomyces cerevisiae* (Sc) como fuente natural de ácido oleico en la dieta de corderos, no influye en los niveles de colesterol total, a pesar de aportar una cantidad importante de ácido oleico.

6.6. Perfil de ácidos grasos en carne

La alimentación de corderos en crecimiento con diferentes dosis de Sc no cambió ($P > 0.05$; Cuadro 16) los niveles de los ácidos grasos mirístico y esteárico, pero sí evidenció cambios ($P < 0.05$) en el perfil del ácido palmítico, oleico y linoleico depositados en la canal. La concentración de ácido oleico del T2 y T3 disminuyó ($P < 0.05$), al incrementarse los niveles de suplementación de Sc en la dieta, en comparación con el grupo testigo (T1), este comportamiento resulta contradictorio a lo esperado, si se considera que el objetivo de suplementar con Sc como una fuente de ácido oleico, era incrementar los depósitos de este ácido graso a nivel muscular (Cortés *et al.*, 2009) y convertirse en una alternativa para la prevención de enfermedades cardiovasculares.

Cuadro 16. Perfil de ácidos grasos de la carne de corderos alimentados con diferentes niveles de *Saccharomyces cerevisiae*

Perfil de ácidos grasos, mg 100 g ⁻¹ de carne					
Tratamiento (T)	Mirístico C14:0	Palmítico C16:0	Estearico C18:0	Oleico C18:1	Linoleico C18:2
T1	7.87 ^a	83.80 ^a	60.22 ^a	399.76 ^a	18.65 ^a
T2	7.43 ^a	71.58 ^a	47.98 ^a	152.21 ^b	11.08 ^{ab}
T3	2.10 ^a	21.83 ^b	27.81 ^a	33.70 ^c	5.41 ^b
CV	42.69	47.73	51.29	31.37	41.03

a, b, c: medias de tratamientos con diferente literal en la misma columna muestran diferencia estadística (P < 0.05).

T1: Testigo, 0 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T2: T1 + 3 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

T3: T1 + 5 g d⁻¹ *Saccharomyces cerevisiae*.

CV: Coeficiente de variación.

Pueden ser varios los factores que influyen el perfil de ácidos grasos en la canal de los corderos en estudio, entre estos, la raza, sexo, peso, ambiente, grado de engrasamiento y en específico, la dieta (Juárez *et al.*, 2008).

Un aspecto importante es la composición de la dieta, ya que es el factor que modula el aporte de ácidos grasos y su deposición en la canal. Está documentado que en rumiantes que consumen dietas altas en concentrado, tienden a mejorar los porcentajes de ácido oleico en el área subcutánea del tejido muscular; también se reporta que altos niveles de proteína en la dieta se relacionan con mayores porcentajes de ácido oleico depositado en la canal (Bas y Morand, 2000), llegando a representar hasta un 40 % del total de los ácidos grasos depositados (Duckett *et al.*, 1993). Esto contrasta con lo observado en este estudio, al reportarse niveles decrecientes de oleico, cuando la dieta permanece constante en su composición y se basa en concentrados con alto nivel de proteína.

La fermentación ruminal también modula el perfil de ácidos grasos depositados en la canal (Sinclair, 2007), y es responsable de que el ácido oleico represente la mayor proporción de los ácidos grasos depositados en el tejido muscular (Bas y Morand, 2000), siendo importante mencionar que en rumiantes, los ácidos grasos absorbidos no se asemejan a los consumidos (Rizzi *et al.*, 2002), debido a la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos por cepas de microorganismos ruminales que producen lipasas que hidrolizan los ácidos grasos antes de que los ésteres lleguen al abomaso (Harfoot, 1981). Así mismo, se ha documentado, que ácidos grasos saturados como el palmítico, al estar disponible en altos niveles, es alargado sucesivamente a ácido esteárico y este al ser capturado por la enzima delta-9-desaturasa es convertido en ácido oleico, mismo, que es depositado a nivel muscular (Bas y Morand, 2000; Castro *et al.*, 2005). Lo que implica que bajos niveles de palmítico, están relacionados con bajos niveles de oleico, coincidiendo con lo reportado en este estudio, donde el palmítico disminuyó ($P < 0.05$) con la suplementación de $5 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de *Sc*, aunque este efecto pudo relacionarse con altos niveles de proteína en la dieta (Bas y Morand, 2000). No obstante, esto no explica los cambios producidos por *Sc* en los niveles de oleico de la canal de los corderos en estudio, al resultar inferiores a los observados en el grupo testigo.

A pesar de que *S. cerevisiae* tiene 40 % de ácido oleico en su masa lipídica, los resultados de su adición en la dieta no son similares a los observados con el uso de aceites vegetales como el de oliva, canola y colza, los cuales incrementan la deposición de ácido oleico en la canal (Castro *et al.*, 2005; Hristov *et al.*, 2011), lo que sugiere que la levadura o los compuestos derivados de su lisis inhiben algún proceso relacionado con la síntesis de los ácidos grasos, en específico del ácido oleico.

Este proceso biológico está documentado para la insulina, la cual produce un estímulo lipogénico al aumentar la expresión del gen enzimático esteroil Co-A desaturasa (SCD), relacionado con un incremento en la síntesis de ácido esteárico y oleico (Daniel *et al.*, 2004). Lo que sugiere, que si la insulina es capaz de manipular la cantidad de SCD en los adipocitos de la canal, deben existir factores que inhiban este proceso y cambien el perfil y la concentración de ácidos grasos depositados (Barber *et al.*, 2000).

En cuanto al ácido linoleico, la concentración más baja ($P < 0.05$) se registró con la concentración más alta de *Sc* (T3; 5 g animal⁻¹ d⁻¹). Se ha documentado que niveles bajos de ácido linoleico son debidos al incremento de la energía metabolizable de dietas ricas en grasa como fuentes de energía (Bas y Morand, 2000). Wright *et al.* (1977), al utilizar aceite de girasol, observaron que a nivel muscular se evidenciaba un incremento en los niveles de ácido linoleico a medida que disminuían los niveles del ácido palmítico, esteárico y oleico. En este estudio, se evidenció una disminución del ácido palmítico y oleico ($P < 0.05$), mientras que la de esteárico no cambió ($P > 0.05$), y la de linoleico se redujo; sin embargo, son variados los factores que participan en la formación y deposición de los ácidos grasos en rumiantes, desafortunadamente ninguno explica de manera directa el comportamiento depresor de *Sc* sobre los niveles de oleico depositado en la canal de los corderos evaluados en esta investigación.

7. CONCLUSIONES

Con base a las condiciones en que se desarrollo el experimento y los objetivos establecidos en esta investigación, la adición de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en la dieta de corderos no alteró las variables ruminales estudiadas, ni el área del musculo *Longissimus dorsi*, el espesor de grasa dorsal, ni los niveles de colesterol en plasma sanguíneo. Sin embargo, si redujo parcialmente el consumo de materia seca con 3 g d⁻¹ de *Sc*, y disminuyó la digestibilidad de la fibra detergente ácida con 5 g d⁻¹ de *Sc*. Además de reducir los niveles de ácido palmítico, oleico y linoleico depositados en la canal cuando las concentraciones de *Sc* pasaron de 0, 3 y 5 g animal⁻¹ d⁻¹.

Por lo que podemos considerar que *Sc* no representa una alternativa para la producción de canales con altos niveles de ácido oleico, que eviten incrementos en los niveles sanguíneos de colesterol y enfermedades cardiovasculares.

8. LITERATURA CITADA

- Abdelrahman M. M., Hunaiti D. A. 2008. The effect of dietary yeast and protected methionine on performance and trace minerals status of growing Awassi lambs. *Livestock Science*. 115: 235 – 241.
- Abdoun K., Stumpff F., Martens H. 2007. Ammonia and urea transport across the rumen epithelium: a review. *Anim. Health Res. Rev.* 7: 1 – 17.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis of the AOAC International*, 17th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD. USA. Vol. 1. 500 p.
- Arana A., Mendizabal J. A., Alzón M., Eguinoa P., Beriain M. J., Purroy A. 2006. Effect of feeding lambs oleic acid calcium soaps on growth adipose tissue development and composition. *Small Ruminant Research*. 63: 75 – 83.
- Arambel M. J., Kent B. A. 1990. Effect of yeast culture on nutrient digestibility and milk yield response in early to mid-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73: 1560 – 1563.
- Arbiza A. S., De Lucas T. J. 1996. *Producción de carne ovina*. Editores Mexicanos Unidos. México, D. F. 167 p.
- Arcos G. J.L., Castrejón F. A., Mendoza G. D., Gavilán P. E. P. 2000. Effect of two commercial yeast cultures with *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal fermentation and digestion in sheep fed sugar cane tops. *Livestock Production Science* 63: 153 – 157.
- Arsenos G., Zygojannis D., Kufidis D., Katsaounis N., Stamataris C. 2000. The effect of breed slaughter weight and nutritional management on cholesterol content of lamb carcasses. *Small Ruminant Research*. 36: 275 – 283.

- Ayala O. J., Mendoza M. G. D., Bárcena G. R., González M. S. S. 1994. Efecto de la adición de *Saccharomyces cerevisiae* y melaza – urea sobre la digestibilidad *in vivo* e *in situ* en dietas para ovinos basadas en paja de cártamo. Vet. Méx. 25(3): 221 – 226.
- Bach A., Iglesias I., Devant M. 2007. Daily rumen pH pattern of loose - housed dairy cattle as affected by feeding pattern and live yeast supplementation. Anim. Feed Sci. Technol. 136: 146 – 153.
- Barber M. C., Ward R. J., Richards S. E., Salter A. M., Buttery P. J., Vernon R. G., Travers M. T. 2000. Ovine adipose tissue monounsaturated fat content is correlated to depot-specific expression of the stearyl-CoA desaturase gene. J. Anim. Sci. 78:62 – 68.
- Bas P., Morand F. P. 2000. Effect of nutritional factors on fatty acid composition of lamb fat deposits. Livestock Production Science. 64: 61 – 79.
- Basiony A. Z., Ragheb E. E., Metwally H. M. 1998. Effect of lasalocid and Yea – Sacc supplementation on performance, digestibility and carcass characteristics of Buffalo calves. Nutr. Abst. Rev. Ser., B, 70: 3 – 4.
- Beauchemin K. A., Yang W. Z. 2005. Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. J. Dairy Sci. 88: 2117 – 2129.
- Beynen A. C., Schonewille J. Th., Tersprtra A. H. M. 2000. Influence of amount and type of dietary fat on plasma cholesterol concentrations in goats. Small Ruminant Research. 35: 141 – 147.
- Bonhomme A. 1990. Rumen ciliates: their metabolism and relationship whit bacteria and their hosts. Anim. Feed. Sci. Technology. 30: 206 – 266.

- Bonilla C. J. A., Llamas L. G., Gutiérrez A., Campos R. A. 1992. Efecto del uso de un cultivo de levaduras y del nivel de proteína en el suplemento, sobre el aprovechamiento de dietas a base de rastrojo de maíz. Memorias del 5° Congreso Nacional de Producción Ovina. Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinocultura. Facultad de medicina Veterinaria de la UANL, Monterrey, Nuevo León. México. pp. 33 – 47.
- Bouda J., Paasch M.L., Yabuta A.O. 1997. Desarrollo y empleo de diagnóstico preventivo de los trastornos ruminales y metabólicos en bovinos. *Vet. Méx.* 28 (3): 189 – 195.
- Buccioni A., Decandia M., Minieri S., Molle G., Cabiddu A. 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Animal Feed Science and Technology.* 174: 1 – 25.
- Buxadé C. C. 1995. *Zootecnia: Bases de Producción Animal Tomo III.* Ediciones Mundi – Prensa. México, D.F. 344 p.
- Castro T., Manso T., Mantecón A. R., Guirao J., Jimeno V. 2005. Fatty acid composition and carcass characteristics of growing lambs fed diets containing palm oil supplements. *Meat Science.* 69: 757 – 764.
- Chaucheyras D. F., Walker N. D., Bach A. 2008. Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145: 5 – 26.
- Church D. C. 1991. *Livestock Feeds and Feeding.* Third ed. Prentice - Hall Inc., USA, 349 p.

- Corona L., Mendoza G. D., Castrejon F. A., Crosby M. M., Cobos M. A. 1999. Evaluation of two yeast cultures (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal fermentation and digestion in sheep fed a corn stover diet. *Small Ruminant Research*. 31: 209 – 214.
- Cortés R. O. 2005. Hipercolesterolemia. Prevención y actualización del diagnóstico, tratamiento y seguimiento en Atención Primaria. En AEPap ed. Curso de Actualización Pediatría 2005. Madrid: Exlibris Ediciones. pp. 49 – 65.
- Cortés R. C., Villagómez M. E., Avalos S. M., Molina A. S. 2009. Influencia de la peroxidación de lípidos sobre el daño oxidativo mitocondrial y la integridad de *Saccharomyces cerevisiae*. *Información tecnológica*. Vol. 20(2): 71 – 81.
- Crosby M. M., Mendoza G. D., Bárcena R., González S., Molina E. 2004. Influence of *Saccharomyces cerevisiae* dose on ruminal fermentation and digestion in sheep fed a corn stover diet. *J. Appl. Anim. Res.* 25: 9 – 12.
- Daniel Z. C. T. R., Wynn R. J. A., Salter M., Buttery P. J. 2004. Differing effects of forage and concentrate diets on the oleic acid and conjugated linoleic acid content of sheep tissues: The role of stearoyl-CoA desaturase. *J. Anim. Sci.* 82: 747 – 758.
- Dann H. M., Drackley J. K., McCoy G. C., Hutjens M. F., Garrett J. E. 2000. Effects of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) and postpartum intake and postpartum intake and milk production of Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 83: 123 – 127.
- Delfa R., Teixeirab A., Gonzalez C., Blasco I. 1995. Ultrasonic estimates of fat thickness and *Longissimus dorsi* muscle depth for predicting carcass composition of live Aragon lambs. *Small Ruminant Research*. 16: 159 – 164.

- Demeyer D. I., Henderickx H. K. 1967. The effect of C18 unsaturated fatty acids on methane production in vitro by mixed rumen bacteria. *Biochimica et Biophysica Acta*. 137: 484 - 97.
- Desnoyers M., Giger R. S., Bertin G., Duvaux P. C., Sauvant D. 2009. Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *J. Dairy Sci.* 92: 1620 -1632.
- Di Francia A., Masucci F., De Rosa G., Varricchio M. L., Proto V. 2008. Effects of *Aspergillus oryzae* extract and a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on intake, body weight gain and digestibility in buffalo calves. *Animal Feed Science and Technology*. 140: 67 – 77.
- Dias H. M. A. M., Berbicz F., Pedrochi F., Baesso M. L., Matioli G. 2010. Butter cholesterol removal using different complexation methods with beta - cyclodextrin, and the contribution of photoacoustic spectroscopy to the evaluation of the complex. *Food Research International*. 43: 1104 – 1110.
- Duckett S. K., Wagner D. G., Yates L. D., Dolezal H. G., May S. G. 1993. Effects of time on feed on beef nutrient composition. *J. Anim. Sci.* 71: 2079 – 2088.
- Duckett S. K., Andrae J. G., Owens F. N. 2002. Effect of high oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *J. Anim. Sci.* 80: 3353 – 3360.
- Ellis J. L., Dijkstra J., Kebreab E., Bannink A., Odongo N. E., McBride B. W., France J. 2008. Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modeling of methane production in cattle. *J. Agric. Sci.* 146: 213 – 233.
- Erasmus L. J., Robinson P. H., Ahmadi A., Hinders R., Garrett J. E. 2005. Influence of prepartum and postpartum supplementation of a yeast culture and

monensin, or both, on ruminal fermentation and performance of multiparous dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 122: 219 – 239.

Fernández C., Gallego L., Quintanilla A. 1997. Lamb fat thickness and Longissimus muscle area measured by a computerized ultrasonic system. *Small Ruminant Research.* 26: 277 – 282.

Folch J., Lees M., Sloane S. G. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry.* 226: 497 – 509.

Folch M. J. L., Garay A. A., Lledías F., Covarrubias R. A. A. 2004. La respuesta a estrés en la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista Latinoamericana de Microbiología.* 46 (1 – 2): 24 – 46.

Fonty G., Chaucheyras F. D. 2006. Effects and modes of action of live yeasts in the rumen. *Biología.* 61: 741 – 750.

Frenoux J. R., Prost E. D., Belleville J. L., Prost J. L. 2001. A polyunsaturated fatty acid diet lowers blood pressure and improves antioxidant status in spontaneously hypertensive rats. *J. Nutr.* 131: 39 – 45.

Gaggìa F., Mattarelli P., Biavati, B. 2010. Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International Journal of Food Microbiology.* 141: 15 – 28.

García M. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3ª edición. México, D.F. UNAM, Instituto de Geografía. 217 p.

García C. C. G., Mendoza M. G. D., González M. S., Cobos P. M., Ortega C. M. E., Ramírez L. R. 2000. Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) and

monensin on ruminal fermentation and digestion in sheep. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 83: 165 – 170.

Gasque G. R. 2008. *Enciclopedia Bovina*. Universidad Nacional Autónoma de México. Primera edición. México D.F. 433 p.

Geay Y., Bauchart D., Hocquette J. F., Culioli J. 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial of meat. *Reprod. Nutr. Dev.* 41: 1 – 26.

Geerken C. M., Calzadilla D., González R. 1987. Aplicación de la técnica de dos marcadores para medir el consumo de pasto y la digestibilidad de la ración de vacas de pastoreo suplementadas con concentrado. *Pastos y forrajes*. 10: 266 – 273.

Gnoni G. V., Natali F., Geelen M. J. H., Siculella L. 2010. Oleic Acid as an Inhibitor of Fatty Acid and Cholesterol Synthesis. *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*. Chapter 152: 1365 – 1373.

Goering H. K., Van Soest P. J. 1972. Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures and some Applications). *Agricultural Handbook No. 379*. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. pp 20.

Grundy S. M. 1986. Comparison of monounsaturated fatty acids and carbohydrates for lowering plasma cholesterol. *N. Engl. J. Med.* 314: 745 – 748.

Haddad S. G., Goussous S. N. 2005. Effect of yeast culture supplementation on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awassi lambs. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 118: 343 – 348.

- Harfoot C. G. 1981. Lipid metabolism in the rumen. In: Christie, W. W. (Ed.). Lipid Metabolism in Ruminant Animals. Pergamon Press. New York. pp. 21 – 30.
- Harfoot C. G., Hazlewood G. P. 1988. Lipid metabolism in the rumen. In The Rumen Microbial Ecosystem. Elsevier Science Publishing, New York, NY. pp 285 – 322.
- Harris L. E. 1970. Métodos para el análisis químico y la evaluación biológica de alimentos para animales. Ed. Center for tropical agriculture feed composition. Project Livestock Pavillion. University of Florida, Gainesville, Florida. USA. 174 p.
- Harrison G. A., Hemken R. W., Dawson K. A., Harmon R. J. 1988. Influence of addition of yeast culture supplement to diets of lactating cows on ruminal fermentation and microbial population. J. Dairy Sci. 71: 2967 – 2975.
- Hernández S. D. 1996. Adición de lasalocida sódica y un cultivo de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*¹⁰²⁶) en una dieta a base de ingredientes no convencionales para borregos en crecimiento. Animal Feed Science and Technology. 75: 1 – 13.
- Heshmati A., Khodadadi I. 2009. Reduction of cholesterol in beef suet using lecithin. Journal of Food Composition and Analysis. 22: 684 – 688.
- Holtshausen L. Beauchemin K. A. 2010. Supplementing barley based dairy cow diets with *Saccharomyces cerevisiae*. The Professional Animal Scientist. 26: 285 – 289.
- Hristov A. N., Varga G., Cassidy T., Long M., Heyler K., Karnati S. K. R., Corl B., Hovde C. J., Yoon I. 2010. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation

product on ruminal fermentation and nutrient utilization in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93: 682 – 692.

Hristov A. N., Domitrovich C., Wachter A., Cassidy T., Lee C., Shingfield K. J., Kairenius P., Davis J., Brown J. 2011. Effect of replacing solvent-extracted canola meal with high-oil traditional canola, high-oleic acid canola, or high erucic acid rapeseed meals on rumen fermentation, digestibility, milk production, and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94: 4057 – 4074.

Hučko B., Bampidis V. A., Kodeš A., Christodoulou V., Mudřík Z., Poláková K., Plachý V. 2009. Rumen fermentation characteristics in pre-weaning calves receiving yeast culture supplements. *Czech J. Anim. Sci.*, 54 (10): 435 – 442.

Jenkins T. C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. Symposium: Advances in ruminant lipid metabolism. *J. Dairy Sci.* 76: 3851 – 3863.

Jouany J. P., Mathieu F., Senaud J., Bohatier J., Bertin G., Mercier M. 1998. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* on the digestion of nitrogen in the rumen of defaunated and refaunated sheep. *Animal Feed Science and Technology.* 75: 1 – 13.

Juniper D. T., Phipps R. H., Givens D. I., Jones A. K., Green C., Bertin G. 2008. Tolerance of ruminant animals to high dose in-feed administration of selenium-enriched yeast. *J. Anim. Sci.* 86: 197 – 204.

Juárez M., Horcada A., Alcalde M. J., Valera M., Mullen A. M., Molina A. 2008. Estimation of factors influencing fatty acid profiles in light lambs. *Meat Science.* 79: 203 – 210.

- Kawas J. R., Garcia C. R., Garza C. F., Fimbres D. H., Olivares S. E., Hernandez V. G., Luc C. D. 2007. Effects of sodium bicarbonate and yeast on productive performance and carcass characteristics of light – weight lambs fed finishing diets. *Small Ruminant Research*. 67: 157 – 163.
- Kepler C. R., Hirons K. P., McNeill J. J., Tove S. B. 1966. Intermediates and products of the biohydrogenation of linoleic acid by *Butyrivibrio fibrisolvens*. *J. Biol. Chem.* 241: 1350 – 1354.
- Krause K. M., Oetzel G. R. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 126:215–236.
- Kumar U., Sareen V. K., Singh S. 1994. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* yeast culture supplement on ruminal metabolism in buffalo calves given a high concentrate diet. *Anim. Prod.* 59: 209 – 215.
- Lara A., Rosas M., Pastelin G., Aguilar C., Attie F., Velázquez M. 2004. Hipercolesterolemia e hipertensión arterial en México. Consolidación urbana actual con obesidad, diabetes y tabaquismo. *Archivos de Cardiología de México*. 74: 231 – 245.
- Lascano G. J., Zanton G. I., Suarez M. F. X., Heinrichs A. J. 2009. Effect of limit feeding high and low concentrate diets with *Saccharomyces cerevisiae* on digestibility and on dairy heifer growth and first lactation performance. *J. Dairy Sci.* 92: 5100 – 5110.
- Lila Z. A., Mohammed N., Yasui T., Kurokawa Y., Kanda S., Itabashi H. 2004. Effects of a twin strain of *Saccharomyces cerevisiae* live cells on mixed ruminal microorganism fermentation in vitro. *J. Anim. Sci.* 82: 1847 – 1854.

- Lynch H. A., Martin S. A. 2002. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* culture and *Saccharomyces cerevisiae* Live Cells on In Vitro Mixed Ruminal Microorganism Fermentation. *J. Dairy Sci.* 85: 2603 – 2608.
- McCullough H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clin. Chem. Acta.* 17: 297 – 304.
- Macedo F. A. F., Siqueira R. E., Martins N. E., Macedo G. R. M. 2000. Qualidade de Carcaças de Cordeiros Corriedale, Bergamácia x Corriedale e Hampshire Down x Corriedale, Terminados em Pastagem e Confinamento. *Rev. Bras. Zootec.* 29 (5): 1520 – 1527.
- Macedo R., Arredondo V., Beauregard J. 2006. Influence of yeast culture on productive performance of intensively fattened Pelibuey lambs in Colima, México. *Rev. AIA.* 10 (3): 59 – 67.
- Macedo B. R., Arredondo R. V., Rodríguez R. R., Rosales S. J. A., Larios G. A. 2009. Efecto de la adición de un cultivo de levaduras y de la ración sobre la degradación in vitro y productividad de corderos Pelibuey. *Tec. Pec. Méx.* 47(1):41 – 53.
- Mackie R. L., Gilchrist F. M. C., Roberts A. M., Hannah P. E., Schwartz H. M. 1978. Microbiological and chemical changes in the rumen during the stepwise adaptation of sheep to high concentrate diets. *J. Agric. Sci.* 90: 241 – 250.
- Manso T., Bodas R., Castro T., Jimeno V., Mantecon A. R. 2009. Animal performance and fatty acid composition of lambs fed with different vegetable oils. *Meat Sci.* 83(3): 511 – 516.

- Markmann C. 2004. La levadura de cerveza. Consultado en línea: http://www.alimentariaonline.com/desplegar_notas.asp?did=150 el 12 de Marzo del 2010.
- Martineau R., Sauvant D., Ouellet D. R., Côrtes C., Vernet J., Ortigues M. I., Lapiere H. 2011. Relation of net portal flux of nitrogen compounds with dietary characteristics in ruminants: A meta-analysis approach. *J. Dairy Sci.* 94: 2986 – 3001.
- Medina A. G., González S. A., Pérez T. S. R. 2004. Características permisibles para la clasificación de la canal ovina. Memorias III congreso nacional de ovinos tropicales. México. D. F. pp. 134 – 141.
- Mendoza M. G. D., Plata P. F. X., Ramírez M. M., Mejía D. M. A., Lee R. H., Bárcena G. R. 2007. Evaluación de alimentos integrales para el engorde intensivo de ovinos. *Revista Científica FCV-LUZ.* 1: 66 – 72.
- Mensah L. D., Julien D. 2011. Implementation of food safety management systems in the UK. *Food Control.* 22: 1216 – 1225.
- Merck. 2000. Guía de referencia: Bioquímica sérica (criterios de valoración). Manual de Merck de veterinaria. 5 ed. Océano grupo editorial, S. A. Barcelona España. p. 2454 - 2455.
- Mewes H. W., Alberman K., Bahr M., Frishmann D., Gleissner A., Hani J., Heumann K., Kleine K., Maieri A., Oliver S. G., Pfeifer F., Zollner A. 1997. Overview of the yeast genome. *Nature.* 387: 7 – 9.
- Meyer H. H., Abdulkhaliq A., Davis S. L., Thompson J., Nabioullin R., Wu P. Y., Forsberg N. E. 1996. Effects of the callipyge phenotype on serum creatinine, total cholesterol, low-density lipoproteins, very-low-density lipoproteins,

high-density lipoproteins, and triacylglycerol in growing lambs. *J. Anim. Sci.* 74: 1548 – 1552.

Miller W. T., Hoover W. H., Holt M. 2002. Influence of yeast culture on ruminal microbial metabolism in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 86: 2009 – 2014.

Mir Z., Mir P. S. 1994. Effect of Addition of Live Yeast *Saccharomyces cerevisiae* on Growth and Carcass Quality of Steers Feed High – Forage or High – Grain Diets on Feed Digestibility and in situ Degradability. *J. Anim. Sci.* 72: 537 – 545.

Montalbetti A. 2009. *Microbiología del rumen*. Editorial El Cid. Argentina. 19 p.

Moya D., Calsamiglia S., Ferret A., Blanch M., Fandiño I., Castillejos L., Yoon I. 2009. Effects of dietary changes and yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on rumen microbial fermentation of Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 87: 2874 – 2881.

Mutsvangwa T., Edwards I. E., Topps J. H., Paterson G. F., 1992. The effect of dietary inclusion of yeast culture (Yea-Sacc) on patterns of rumen fermentation, food intake and growth of intensively fed bulls. *Anim. Prod.* 55: 35 – 40.

Naviglio D., Gallo M., Le Grottaglie L., Scala C., Ferrara L., Santini A. 2012. Determination of cholesterol in Italian chicken eggs. *Food Chemistry.* 132: 701 – 708.

Newbold C. J., Wallace R. J., Chen X. B., McIntosh F. M. 1995. Different strains of *Saccharomyces cerevisiae* differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. *J. Anim. Sci.* 73(6): 1811 – 1818.

- Newbold C. J., Wallace R. J., McIntosh F. M. 1996. Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *British J. Nutrition*. 76(2): 249 – 251.
- Nielsen S. 2010. *Food Analysis Laboratory Manual*. Second edition. Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York. 177 p.
- NRC. 2007. *Nutrient Requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids*. National Academy Press. Washington, DC. 381 p.
- Nuernberg K., Fischer A., Nuernberg G., Ender K., Dannenberger D. 2008. Meat quality and fatty acid composition of lipids in muscle and fatty tissue of Skudde lambs fed grass versus concentrate. *Small Ruminant Research*. 74: 279 – 283.
- Orman A., Çalışkan Ü. G., Dikmen S., Üstüner H., Mustafa O. M., Çalışkan Ç. 2008. The assessment of carcass composition of Awassi male lambs by real-time ultrasound at two different live weights. *Meat Science*. 80: 1031–1036.
- Pal K., Paul S. K., Biswas P., Patra A. K., Bhunia T., Pakhira M. C. 2010. Responses of addition of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) from rice distillers grains with solubles with or without trace minerals on the performance of Black Bengal kids. *Small Ruminant Research*. 94: 45 – 52.
- Park Y.W., Kouassi M. A., Chin K. B. 1991. Moisture, total fat and cholesterol in goat organ and muscle meat. *J. Food Sci*. 56: 1191 – 1193.
- Payandeh S., Kafilzadeh F. 2007. The effect of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on nutrient intake, digestibility and finishing performance of lambs fed a diet based on dried molasses sugar beet-pulp. *Pak. J. Biol. Sci*. 10: 4426 – 4431.

- Peralta M. F., Miazza R. D., Nilson A. 2008. Levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) en la alimentación de pollos de carne. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 9 (10): 1 – 11.
- Peter K. B. S., Canfield M. S. 1996. The Effect of Growth Type on Carcass Traits, Meat Attributes and Chemical Composition of Beef Cattle. Ed. University of Arkansas, Fayetteville. U. S. A. 202 p.
- Pilkington B. J., Rose A. H. 1989. Accumulation of Sulphite by *Saccharomyces cerevisiae* and *Zygosaccharomyces bailii* as Affected by Phospholipid Fatty-acyl Unsaturation and Chain Length. *Journal of General Microbiology*.135: 2423 – 2428.
- Ponnampalam E. N., Sinclair A. J., Egan A. R., Blakeley S. J., Li D., Leury B. J. 2001. Effect of dietary modification of muscle long-chain n–3 fatty acid on plasma insulin and lipid metabolites, carcass traits, and fat deposition in lambs. *J. Anim. Sci.* 79: 895 – 903.
- Reynoso G. E., Cervantes R. M., Figueroa V. J. L., Morales T. A., Araiza P. A., Hernández J. Y. 2010. Nivel de proteína, fibra y cultivo de levadura *Saccharomyces cerevisiae* en dietas a base de trigo para cerdos. *Agrociencia*. 44: 753 – 762.
- Rizzi L., Simioli M., Sardi L., Giorgio M. P. 2002. Carcass quality, meat chemical and fatty acid composition of lambs fed diets containing extruded soybeans and sunflower seeds. *Animal Feed Science and Technology*. 97: 103 – 114.
- Robinson P. H., Erasmus L. J. 2009. Effects of analyzable diet components on responses of lactating dairy cows to *Saccharomyces cerevisiae* based yeast products: A systematic review of the literature. *Anim. Feed Sci. Technol.* 149: 185 – 198.

- Sainz R. D. 1996. Qualidade das carcaças e da carne ovina e caprina. In: Simpósio da reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia. 33: 3 - 4.
- Sales J. 2011. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters, nutrient digestibility and growth in sheep: A meta-analysis. Small Ruminant Research 100: 19 – 29.
- SAS. 2004. SAS/STAT User's guide (Release 9.1). Cary, NC, USA. SAS Inst. Inc. Cary, NC, USA.
- Seabrook J. L., Peel R. K., Engle T. E. 2011. The effects of replacing dietary carbohydrate with calcium salts of fatty acids on finishing lamb feedlot performance, blood metabolites, muscle fatty acid composition, and carcass characteristics. Small Ruminant Research. 95: 97 – 103.
- Seymour W. M., Campbell D. R., Johnson Z. B. 2005. Relationships between rumen volatile fatty acid concentrations and milk production in dairy cows: A literature study. Anim. Feed Sci. Technol. 119: 155 – 169.
- Sinclair L. A. 2007. Nutritional manipulation of the fatty acid composition of sheep meat: a review. J. Agric. Sci. 145: 419 – 434.
- Stanford K., Bailey D.R. C., Jones S. D. M., Price M. A., Kemp R. A. 2001. Ultrasound measurement of longissimus dimensions and back fat in growing lambs: effects of age, weight and sex. Small Ruminant Research. 42: 191 – 197.
- Throne M., Bach A., Ruiz M. M., Stern S. D., Linn J. G. 2009. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal pH and microbial fermentation in dairy cows Yeast supplementation on rumen fermentation. Livestock Science. 124: 261 – 265.

- Titi H. H., Dmour R. O., Abdullah A. Y. 2008. Growth performance and carcass characteristics of Awassi Lambs and Shami goat kids fed yeast culture in their finishing diet. *Animal Feed Science and Technology*. 142: 33 – 43.
- Trinder P. 1969. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor. *Ann. Clin. Biochem*. 6: 24 – 27.
- Tripathi M. K., Karim S. A. 2010. Effect of individual and mixed live yeast culture feeding on growth performance, nutrient utilization and microbial crude protein synthesis in lambs. *Animal Feed Science and Technology*. 155: 163 – 171.
- Tripathi M. K., Karim S. A. 2011. Effect of yeast cultures supplementation on live weight change, rumen fermentation, ciliate protozoa population, microbial hydrolytic enzymes status and slaughtering performance of growing lamb. *Livestock Science*. 135: 17 – 25.
- Trueta S. R. 2005. Análisis de la situación Ganadera Bovina productora de carne en México, periodo 1990 – 2001. *Revista Entorno Ganadero*. 11: 23 – 28.
- Van den Top A. M., Wensing Th., Beynen A. C. 1994. The influence of calcium palmitate and oleate feeding on hepatic lipid metabolism in dry goats. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 72: 44 – 55.
- Van der Graaf A., Cuffie J. C., Vissers N. M., Trip D. M., Gagné C., Shi G., Veltri E., Avis J. H., Kastelein J. J. P. 2008. Efficacy and Safety of Coadministration of Ezetimibe and Simvastatin in Adolescents With Heterozygous Familial Hypercholesterolemia. *Journal of the American College of Cardiology*. 52 (17): 1421 – 1429.

- Watson K., Rose A. H. 1980. Fatty – acyl Composition of the Lipids of *Saccharomyces cerevisiae* Grow Aerobically or Anaerobically in Media Containing Different Fatty Acids. *Journal of General Microbiology*. 117: 225 – 233.
- Weingärtner O., Lütjohann D., Vanmierlo T., Müller S., Günther L., Herrmann W., Böhm M., Laufs U., Herrmann M. 2011. Markers of enhanced cholesterol absorption are a strong predictor for cardiovascular diseases in patients without diabetes mellitus. *Chemistry and Physics of Lipids*. 164: 451–456.
- Wohlt J. E., Corcione T. T., Zajac P. K. 1998. Effect of yeast on feed intake and performance of cows fed diets based on corn silage during early lactation. *J. Dairy Sci*. 81: 1345 – 1352.
- Wright D. E., Payne E., Pyle C., Aiteken W. M., Kirtonm A. H. 1977. Poly-unsaturated fat in young ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 2: 93 – 100.
- Yeom K. H., Schonewille J. Th., Beynen A. C. 2005. Fatty acid composition of plasma lipids and erythrocytes in adult goats in positive energy balance fed diets containing either olive or corn oil. *Small Ruminant Research*. 58: 25 – 32.
- Yoon I. K., Stern M. D. 1996. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* Cultures on Ruminal Fermentation in Dairy Cows. *J Dairy Sci*. 79: 411 – 417.
- Zhang A., Lee B., Lee K., An G., Song K., Lee C. 2005. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality and ileal mucosa development of broiler chicks. *Poultry Sci*. 84(7): 1015 – 1021.

Zock P. L., Kattan M. B. 1992. Hydrogenation alternatives: effects of trans fatty acids and stearic acids versus linoleic acid on serum lipids and lipoproteins in humans. *J. Lipid Res.* 33: 399 – 410.