



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**PROGRAMA DE POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y
PRODUCTIVIDAD**

GANADERÍA

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON PROPIONATO DE CALCIO

EVER DEL JESUS FLORES SANTIAGO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

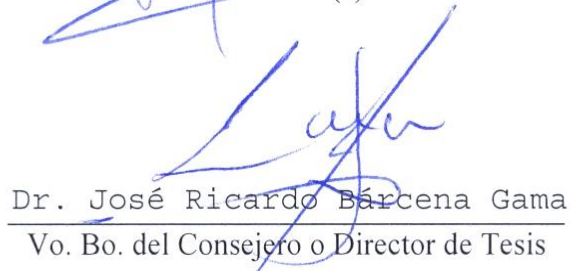
2017

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Ever del Jesus Flores Santiago, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. José Ricardo Bárcena Gama, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "Comportamiento productivo y características de la canal de ovinos suplementados con propionato de calcio" y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 14 de noviembre de 2017


Firma del
Alumno (a)



Dr. José Ricardo Bárcena Gama
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Comportamiento productivo y características de la canal de ovinos suplementados con propionato de calcio** realizada por el (la) alumno (a): **Ever del Jesus Flores Santiago** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. José Ricardo Bárcena Gama

ASESOR

† Dr. Alfonso Hernández Garay

ASESOR



Dr. Mario Antonio Cobos Peralta

ASESOR



Dr. Sergio Iban Mendoza Pedroza

ASESOR



Dr. José Isidro Alejos de la Fuente

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2017

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON PROPIONATO DE CALCIO

Flores S. E del J, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la inclusión propionato de calcio (PCa) en el rendimiento productivo, rendimiento en canal y costos de producción. Se usaron 24 ovinos dorper*pelibuey (peso inicial 27 ± 2 kg) distribuidos bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos: 0, 1 y 2 % de PCa kg^{-1} alimento ($n=8$), durante 42 días. Hubo diferencias en consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), rendimiento en canal caliente (RCC) y fría (RCF) por la inclusión de PropCa ($P < 0.05$). No hubo diferencias en Grasa dorsal (GD), área de chuleta (ACh), peso vivo al sacrificio (PVS), peso de canal caliente (PCC) y fría (PCF). Se realizó un segundo trabajo para evaluar el efecto del PCa en glucosa en plasma, fermentación ruminal y digestibilidad de MS, FDN y FDA del alimento en seis novillos Holstein (380 ± 20 kg de peso vivo) con cánula ruminal permanente, en un diseño de cuadrado latino 3×3 replicado. Los tratamientos fueron: T0 (0g), T1 (100g) y T2 (200g) de PCa $\text{animal}^{-1}\text{d}^{-1}$. El CMS, se restringió a $10 \text{ kg animal}^{-1}\text{d}^{-1}$. El nivel de PCa en la dieta modificó el nivel de glucosa en plasma ($P > 0.05$). Las dietas con mayor nivel de PCa condujeron a una menor proporción molar de acetato y mayores de propionato en rumen ($P < 0.05$). No hubo efecto en N-NH_3 y pH ruminal por la suplementación con PCa. La cinética de digestión ruminal *in situ* de MS, FDN y FDA, no presentaron diferencias al incluir PCa en las dietas. La inclusión de PropCa en dietas para ovinos mejora el rendimiento productivo y de la canal. No hubo diferencias en el pH, N-NH_3 y la cinética de digestión del alimento, ni en la DISMS, DISFDN o DISFDA; sin embargo, la concentración de glucosa en plasma y propionato en rumen se incrementaron debido a la suplementación con PCa en la dieta y no por una modificación en la fermentación ruminal.

Palabras clave: granos, fuente de energía, propionato de calcio, ovinos, bovinos.

PRODUCTIVE BEHAVIOR AND CARCASS CHARACTERISTICS OF THE SHEEP SUPPLEMENTED WITH CALCIUM PROPIONATE

Flores S. E del J, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the effect of the inclusion of calcium propionate (PCa) in the productive performance, channel yield and production costs. Twenty-four dorper * pelibuey sheep (initial weight 27 ± 2 kg) distributed under a completely randomized design were used with three treatments: 0, 1 and 2% of PCa kg⁻¹ food (n = 8), for 42 days. There were differences in dry matter consumption (CMS), daily weight gain (GDP), feed conversion (CA), hot runner yield (RCC) and cold (RCF) due to the inclusion of PropCa (P <0.05). There were no differences in dorsal fat (GD), chop area (ACh), live weight at slaughter (PVS), and hot carcass weight (PCC) and cold (PCF). A second work was carried out to evaluate the effect of PCa on plasma glucose, ruminal fermentation and digestibility of MS, NDF and ADF of the food in six Holstein steers (380 ± 20 kg live weight) with permanent ruminal cannula, in a design of 3x3 Latin square replicated. The treatments were: T0 (0g), T1 (100g) and T2 (200g) of PCa animal⁻¹d⁻¹. The CMS was restricted to 10 kg animal⁻¹d⁻¹. The level of PCa in the diet modified the plasma glucose level (P>0.05). Diets with a higher level of PCa led to a lower molar ratio of acetate and higher proportions of rumen propionate (P <0.05). There was no effect on N-NH₃ and ruminal pH due to PCa supplementation. The kinetics of in situ ruminal digestion of MS, NDF and ADF did not differ when PCa was included in the diets. The inclusion of PropCa in sheep diets improves the productive performance and the carcass. There were no differences in the pH, N-NH₃ and the kinetics of digestion of the food, nor in the DISMS, DISFDN or DISFDA; however, the concentration of plasma glucose and propionate in the rumen increased due to PCa supplementation in the diet and not due to a modification in ruminal fermentation.

Key words: grains, energy source, calcium propionate, sheep, cattle.

DEDICATORIA ESPECIAL

Al Dr. Alfonso Hernández Garay:

Gracias por haberme dado la oportunidad de conocerlo, por sus breves pláticas informales, muchos convivios en los cuales generaba en mí una mayor autoestima, al creer en mi cuando me desplomaba, al despertar mi interés por la investigación y el conocimiento en el área de forrajes. Firmemente creo que parte de mis diplomas son de él, porque su huella esta en ellos. Su recuerdo vivirá en mi mente para siempre.

DEDICATORIA

Todos en algún momento hemos sentido que todo está mal, pues yo no soy la excepción, esto ocurrió en mi vida en un momento en el que el tiempo era vital, me encontraba en el desarrollo de esta tesis, cada día parecía que el tiempo era más corto y habían más cosas por hacer, simplemente miraba a mi alrededor y pensaba en todo momento que mi única y mejor solución sería tirar la toalla, renunciar a mis sueños en esa última etapa, pero que aún si esto fuera causante de algún trauma en el camino que lleva mi vida para ese momento; eso sería lo mejor y más fácil.

En un momento dentro de esta reflexiva situación, me detuve, y pensé en mi hija y esposa, pensé en cómo se encontrarían sus vidas, y en que afectaría a ellas la toma de mi decisión, al mismo instante me di cuenta que si quería lo mejor para ellas, debía esforzarme y realizar todos los sacrificios que fueran necesarios.

Ellas fueron mi motivación, una vez más mi hija y esposa trajeron sentido a mi vida, una vez más ellas fueron las causantes de mi anhelo por salir adelante, progresar y culminar con éxito esta tesis, por eso mismo dedico esta tesis a mi hija Sophia Yetzali y esposa Osmara. Agradezco a Dios por darme tan hermosa compañía y motivación para cada día ser mejor.

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Eugenio y Lorenza, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron. Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes.

A mis hermanos y hermanas, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A todos mis amigos, por compartir los buenos y malos momentos. Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico, que hizo posible la realización de mis estudios de Doctorado.

Al Colegio de Postgraduados y en especial al Programa de Ganadería por contribuir en mi formación como profesionista.

A los doctores:

Dr. José Ricardo Bárcena Gama, † Dr. Alfonso Hernández, Dr. Mario Antonio Cobos Peralta, Dr. Sergio Iban Mendoza Pedroza, Dr. José Isidro Alejos de la Fuente por su invaluable asesoría, dirección de la investigación, paciencia en la revisión de mi tesis, pero, sobre todo, por mostrarse siempre como amigos orientándome siempre a una enseñanza integral.

Un agradecimiento especial al Dr. Mario Antonio Cobos Peralta, Coordinador del Laboratorio de Microbiología Ruminal y Genética Microbiana y al personal de dicho laboratorio por su valiosa ayuda.

Así como, al personal del Laboratorio de Nutrición Animal en especial a la Dra. María Magdalena Crosby Galván por su apoyo incondicional al momento de llevar a cabo los análisis químicos de mi investigación.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Panorama mundial de la producción de bovinos para carne	3
2.2 Panorama mundial de la producción de ovinos para carne	4
2.3 Situación actual de la producción de bovinos y ovinos para carne en México	5
2.4 Sistemas de producción de ovinos y bovinos para carne	8
2.4.1 Sistema de producción intensivo	8
2.5 Contexto mundial de los granos de cereales y su importancia en la producción animal	9
2.5.1 Contexto nacional.....	9
2.6 Estructura y composición de los granos de cereales.....	10
2.6.1 Importancia del procesamiento de los granos sobre la digestión de almidón en el fluido ruminal.	12
2.6.2 Factores que afectan la digestión del almidón en rumiantes	14
2.6.3 Fermentación ruminal del almidón.....	14
2.6.4 Precursores de glucosa.....	15
2.6.5 Propionato en nutrición de rumiantes	16
LITERATURA CITADA.....	18
CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBEJETIVO GENERAL	27
3.1 JUSTIFICACIÓN.....	27

3.2 HIPÓTESIS	27
3.3 OBJETIVO GENERAL	27
CAPÍTULO 4. EFECTO DE PROPIONATO DE CALCIO EN VARIABLES	
PRODUCTIVAS Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN OVINOS CONFINADOS 28	
RESUMEN.....	29
ABSTRACT	30
4.1 INTRODUCCIÓN.....	31
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	32
4.2.1 Animales, dieta y periodo experimental	32
4.2.2 Análisis del alimento	32
4.2.3 Ensayo de crecimiento.....	33
4.2.4 Análisis estadístico	34
4.3 RESULTADOS	34
4.4 DISCUSIÓN.....	37
4.5 CONCLUSIÓN	40
LITERATURA CITADA.....	41
CAPÍTULO 5. EFECTOS DE PROPIONATO DE CALCIO EN FERMENTACIÓN	
RUMINAL, GLUCOSA EN PLASMA Y DIGESTIBILIDAD DEL ALIMENTO EN	
BOVINOS PARA CARNE.....	
RESUMEN.....	47
ABSTRACT	48
5.1 INTRODUCCIÓN.....	49
5.2 MATERIALES Y MÉTODOS	50
5.2.1 Animales y diseño experimental.....	50
5.2.2. Análisis del alimento	51

5.2.3 Degradación <i>in situ</i>	52
5.2.4 Determinación de pH, AGV, N-NH ₃ en el líquido ruminal y glucosa en sangre	52
5.2.5 Análisis estadístico	54
5.4 DISCUSIÓN.....	54
5.5 CONCLUSIÓN	58
LITERATURA CITADA.....	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Dietas experimentales y composición química	33
Cuadro 2. Rendimiento de corderos alimentados con propionato de calcio	35
Cuadro 3. Características de la canal en corderos alimentados con propionato de calcio	35
Cuadro 4. Análisis económico por animal por concepto de alimentación (US dólares), cuando se incluyen diferentes niveles de propionato de calcio en la dieta para corderos dorper*pelibuey.....	36
Cuadro 5. Dietas experimentales y composición química	51
Cuadro 6. Efectos de la suplementación con propionato de calcio (PCa) sobre glucosa en plasma, pH y fermentación ruminal en novillos.	55
Cuadro 7. Cinética de digestión ruminal <i>in situ</i> de la materia seca (<i>DISMS</i>), fibra detergente neutro (<i>DISFDN</i>) y fibra detergente acida (<i>DISFD</i>) de las dietas experimentales.	56

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Principales países productores de carne de bovino 2012 (miles de toneladas)
Fuente: COMECARNE con datos USDA (2015).....4
- Figura 2. Histórico de la producción mundial de carne de ovino. Fuente: elaboración propia con datos FAO (2016).....4
- Figura 3. Principales países productores de carne de ovino a nivel mundial 2013. Fuente: Elaboración propia con datos FAO (2016).5
- Figura 4. Producción de carne de bovino y ovino en México, últimos 10 años. Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2016). ²⁰¹⁶ datos preliminares.6
- Figura 5. Participación de la producción de carne de bovino, por entidad federativa 2016.
Fuente: Elaboración propia con datos preliminares SIAP (2016).....7
- Figura 6. Participación de la producción de carne de ovino, por entidad federativa 2016.
Fuente: Elaboración propia con datos preliminares SIAP (2016).....7

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La proyección mundial durante los primeros 25 años de este siglo indican que habrá una alta demanda de productos de origen animal, como resultado del aumento en la población, urbanización, y globalización económica (Blake and Nicholson, 2002; Tewolde *et al.*, 2002), con incrementos anuales en la demanda de carne de 2.8% (Magaña *et al.*, 2006). Aunado a lo anterior, el elevado precio de los principales insumos (granos y derivados) utilizados en producción pecuaria, ha generado preocupación por su posible impacto en la inflación, el deterioro del poder adquisitivo, y de manera especial por sus consecuencias negativas en la economía, nutrición, salud y bienestar de los segmentos más pobres de la población mundial (WORLD ECONOMIC FORUM, 2013).

En México, la ganadería es una de las principales actividades económicas y sociales del sector primario, más del 50% de la superficie terrestre se dedica a esta actividad, además genera empleos directos e indirectos ligados a la misma, así como su participación en el PIB sectorial (FAO, 2009). La producción pecuaria se realiza principalmente en dos sistemas; el pastoreo extensivo que se realiza en todos los estados de la república mexicana, utilizando cerca del 62.5% del total de los 2, 000,000 de km² de la superficie del país (CONAGRO, 2006). El segundo sistema de producción es intensivo y se realiza en corrales de engorda donde se finalizan 3.1 millones de becerros, que consumen 2.8 millones de toneladas de granos, 560 mil toneladas de melaza, 750 mil toneladas de forrajes henificados y 375 mil toneladas de pastas protéicas, generando una derrama importante de empleo y valor agregado para la agricultura nacional (AMEG, 2012).

Sin embargo, para que el animal exprese su potencial genético para ganancia de peso y conversión alimenticia, es necesario atender sus necesidades de proteína, energía, minerales y vitaminas. La producción intensiva de ganado para carne basa su alimentación en granos y

oleaginosas lo que limita la rentabilidad de las empresas ganaderas debido a su alto costo de estos ingredientes alimenticios (Mendoza *et al.*, 2008).

Uno de los principales granos utilizados es el maíz, el cual refleja su valor alimenticio en su contenido de almidón y las características de fermentación ruminal (Cañizares *et al.*, 2011; Ali *et al.*, 2014). La degradación de almidón de los granos en el fluido ruminal es principalmente influenciada por el tipo de grano, variedad, procesamiento, pH ruminal y características de la dieta (Orskov, 1986; Theurer, 1986). Así como, por el contenido de almidón, composición del almidón (amilosa-amilopectina) y las propiedades físicas del almidón (Stevnebo *et al.*, 2006).

Los cereales representan una buena fuente de energía en la dieta, debido a su alto contenido de almidón (57-77% MS), optimizando la producción de acuerdo al almidón convertido a producto animal (Huntington, 1997). Sin embargo, el alto costo de los granos y la demanda de otros sectores como la industria energética (biocombustibles) ha generado un déficit del grano en las explotaciones pecuarias y ha dado lugar a la búsqueda de alternativas. El uso de energéticos no convencionales como glicerol, propileno glicol o propionato de calcio puede ser una alternativa para sustituirlos (Ferraro *et al.*, 2009).

Por lo tanto, el objetivo general del presente estudio es evaluar la adición de propionato de calcio (PCa) en el alimento y su efecto en características productivas de ovinos en finalización: consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), rendimiento en canal. Del mismo modo se realizó un análisis económico sobre la rentabilidad de la producción de ovinos al incluir PCa en la dieta. Se evaluó también el efecto del PCa en novillos de engorda, sobre el pH ruminal, perfil AGV, concentración N-NH₃ en líquido ruminal, glucosa en sangre y degradación *in situ* de MS, FDN y FDA.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Panorama mundial de la producción de bovinos para carne

La dinámica mundial de la producción y comercialización de la carne de bovino está influenciada, entre otros factores, por el contexto macroeconómico, el crecimiento de la población y su localización, las políticas de apoyo de cada país y las negociaciones internacionales, trayendo como consecuencia que en los últimos años se esté dando una restauración que implica cambios importantes en los principales países productores y exportadores, para los cuales dichos cambios representan oportunidades para tener una mayor participación en el mercado mundial (Rodríguez y Morales, 2015).

Dentro de los principales países productores de carne de bovino destacan Estados Unidos de Norte América con 11,855 mil toneladas de carne de bovino, seguido por Brasil con 9,307 mil toneladas y la Unión Europea con 7,765 mil toneladas. México se localiza en el octavo lugar (Figura 1).

Particularmente EUA se caracteriza por ser el principal productor-exportador a nivel mundial; sin embargo, como resultado de la sequía en 2011, el crecimiento de la mancha urbana y el envejecimiento de los ganaderos, se redujo la producción de ganado para carne en 2%; en contraste, India, Brasil y Australia incrementaron su participación de manera importante durante el mismo período, al cubrir en promedio al año 20.26, 16.51 y 16.69 por ciento, respectivamente de las exportaciones mundiales (AMEG, 2015).

Sin embargo, el incremento en el precio de los granos forrajeros y sus subproductos debido a la producción de biocombustibles generan una demanda extra en el mercado de los granos (AMEG, 2014). Las afectaciones del cambio climático sobre los *stocks*, el aumento del precio del petróleo, la devaluación del dólar estadounidense y la interrelación del mercado financiero en el mercado de *commodities* agrícolas que ha acrecentado sus precios; han incidido en el

lento crecimiento de la producción en los últimos cinco años equivalente al 1.8% anual: de 57.58 millones de toneladas (MDT) en 2010 paso a 58.63 en 2014 (Rodríguez y Morales, 2015).

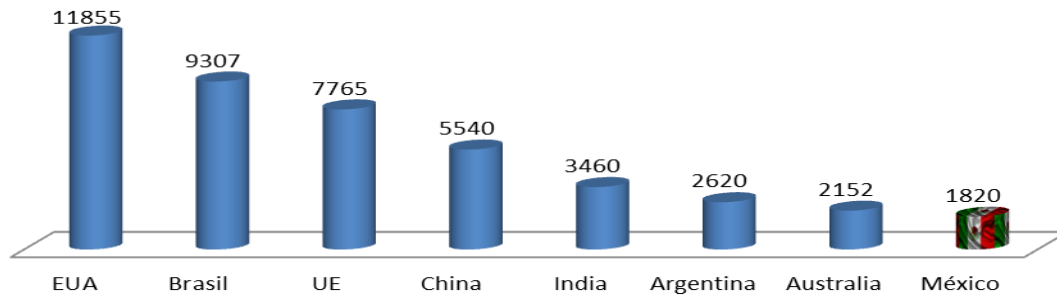


Figura 1. Principales países productores de carne de bovino 2012 (miles de toneladas)

Fuente: COMECARNE con datos USDA (2015).

2.2 Panorama mundial de la producción de ovinos para carne

Actualmente el principal objetivo de la cría de ovinos es la obtención de carne para consumo humano. La producción de carne de ovino ha tenido un crecimiento total, del 2004 al 2013, de 9.63%, pasando de 7.8 a 8.5 millones de toneladas en el periodo, aunque este crecimiento no ha sido constante tal como se visualiza en la Figura 2 (FAO, 2016).

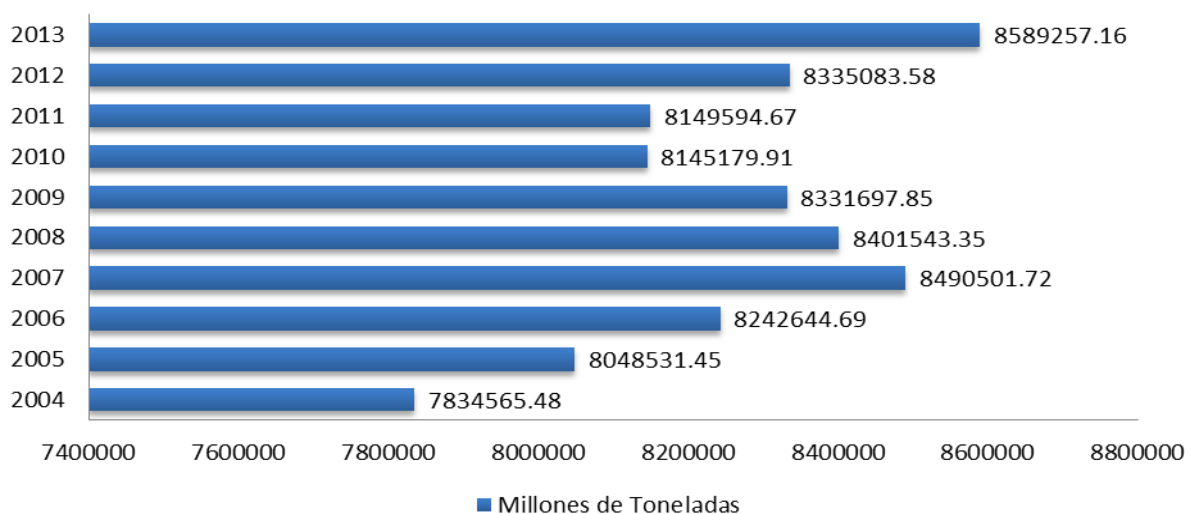


Figura 2. Histórico de la producción mundial de carne de ovino. Fuente: elaboración propia con datos FAO (2016).

China es el principal productor, con más de dos millones de toneladas de carne producidas, seguido, muy lejos por Australia y Nueva Zelanda; México se ubica en el lugar 31 a nivel mundial (Figura 3).

Las tendencias en el contexto mundial indican que la producción de ovinos se mantendrá estable en los próximos años, pero se prevé un aumento en el precio porque habrá más demanda, sobre todo en los países en vías de desarrollo (FAO, 2013). Las estimaciones indican que el grupo E7, compuesto por China, India, Brasil, Indonesia, México y Turquía tendrán en el 2050, un poder adquisitivo 75% mayor que el que tiene actualmente el grupo G7 (Estados Unidos, Japón, Alemania, Inglaterra, Francia, Italia y Canadá) (Hawksworth, 2006).

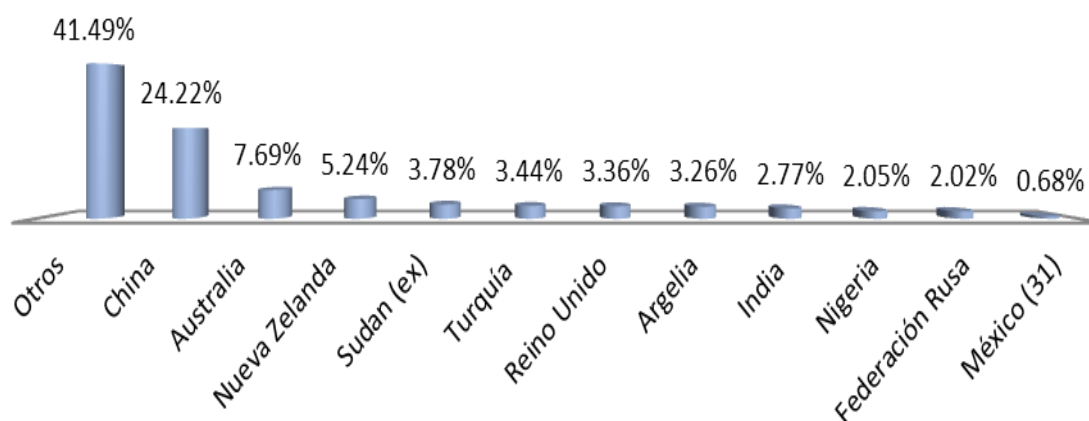


Figura 3. Principales países productores de carne de ovino a nivel mundial 2013.

Fuente: Elaboración propia con datos FAO (2016).

2.3 Situación actual de la producción de bovinos y ovinos para carne en México

En lo que se refiere a condiciones para la producción de proteínas de origen animal, México es un país privilegiado. Factores como clima, suelo, tecnologías disponibles, recursos humanos y una inmensa extensión territorial, permiten que el país pueda producir proteína animal a precios competitivos y en cantidad suficiente. La producción de carne de bovino y ovino en México se desarrolla bajo diferentes niveles tecnológicos, sistemas de manejo y

finalidades de explotación (Financiera Rural, 2012).

Sin embargo, independientemente del tipo de sistema utilizado, es imposible separarlos al analizar la producción de carne, ya que al final de su ciclo productivo todos los animales se sacrifican e impactan la producción nacional (Figura 4).

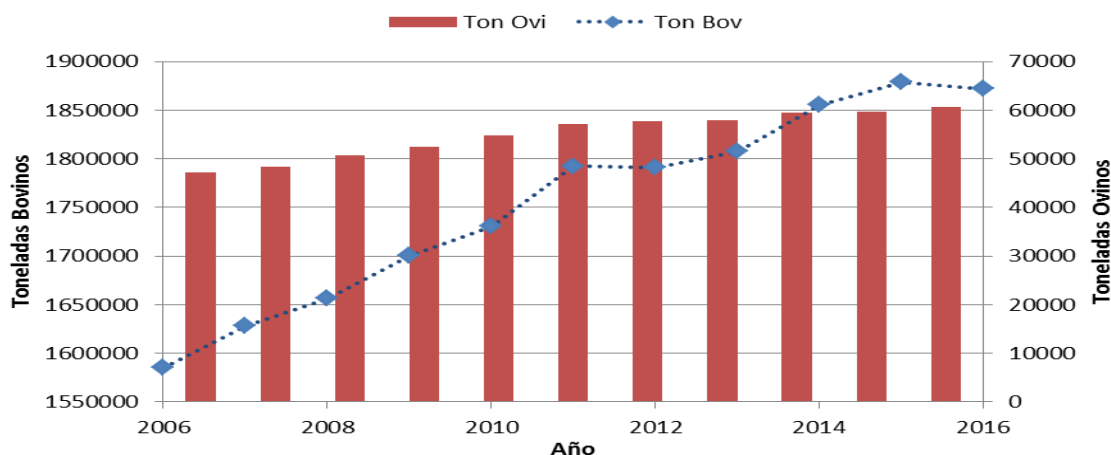


Figura 4. Producción de carne de bovino y ovino en México, últimos 10 años. Fuente:

Elaboración propia con datos del SIAP (2016). * datos preliminares.

De acuerdo a las estadísticas presentadas por la SIAP (2016), la producción de carne de bovino y ovino se ha incrementado en la última década un 28 y 17 %, respectivamente (Figura 4). En particular en la producción de bovinos para carne destacan los siguientes estados como los principales contribuyes a este rubro con más del 65% de la producción nacional, destacando Veracruz con 13.5%, Jalisco 11.2%, Chiapas 6.2%, Baja California Norte 4.9%, San Luis Potosí 4.9%, Sinaloa 4.9%, Durango 4.4% Michoacán 4.2%, Chihuahua 4%, Sonora 3.9% y Tabasco 3.7%(Figura 5).

El inventario de nacional de ganado ovino se incrementó un 29%, pasando de 7, 207,406 en 2005 a 8, 575,908 en 2014 (SIAP, 2016). Dentro del subsector agropecuario, la producción de ovino (lana y carne) genera el 0.9% del valor total del subsector, obteniéndose en 2013 tres mil millones de pesos donde el 99% correspondió a la producción de carne en canal

(Financiera Rural, 2015).

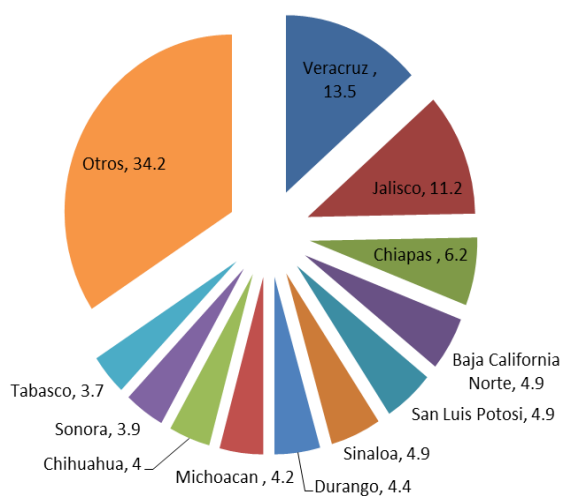


Figura 5. Participación de la producción de carne de bovino, por entidad federativa 2016. Fuente: SIAP (2016).

Los principales productores son los estados de México, Hidalgo, Veracruz, Zacatecas, Puebla, Jalisco, Guanajuato y Tlaxcala, con 14.4, 11.8, 8.0, 7.5, 7.2, 6.0, 4.6 y 4.2%, respectivamente; con un aporte superior al 60% de la producción total a nivel nacional (Figura 6).

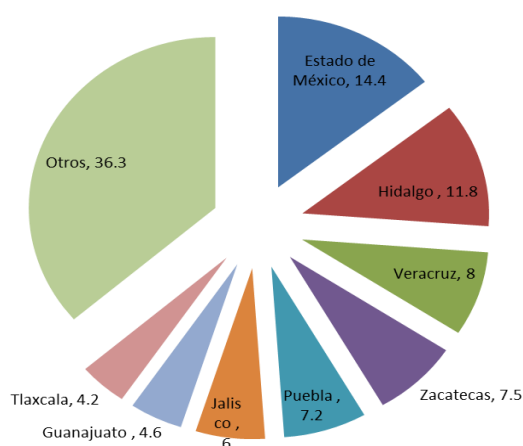


Figura 6. Participación de la producción de carne de ovino, por entidad federativa 2016. Fuente: SIAP (2016).

2.4 Sistemas de producción de ovinos y bovinos para carne

La carne es la fuente de proteína animal más importante para la dieta humana (Morais *et al.*, 2011). La producción de ovinos y bovinos por lo general se desarrolla bajo sistemas de pastoreo, constituyendo una gran ventaja económica, por el ahorro de los costos de producción (costo/beneficio), aunque la variabilidad en condiciones climatológicas condiciona la producción (FAO, 2010). En México existen varios sistemas de producción, destacando el extensivo, semi-intensivo e intensivo (Partida *et al.*, 2013).

De acuerdo con Financiera Rural (2012), la producción de bovinos para carne se desarrolla bajo diferentes niveles tecnológicos, sistemas de manejo y finalidades de explotación, comprendiendo principalmente la producción de novillos para abasto, la cría de becerros para la exportación y la producción de pie de cría. En lo que respecta a ovinos la producción para abasto y pie de cría son sus principales fortalezas.

2.4.1 Sistema de producción intensivo

En México existe una gran variedad de sistemas productivos, que se van a diferenciar entre sí de acuerdo al tipo de tecnología que emplean, por su nivel de integración vertical y horizontal y por los mercados a los cuales dirigen su volumen de producción (Arroniz y Valladares, 2009). En un sistema tecnificado se utilizan tecnologías de punta, en los que el grado de integración vertical y horizontal es casi total. La maximización de los beneficios y la reducción en el tiempo de retorno del capital a la unidad de producción ha llevado a una adopción cada vez mayor del confinamiento como estrategia integrada en los sistemas de producción para la finalización de los animales. En esta etapa los resultados están directamente ligados al plano nutricional, donde la elaboración adecuada de la dieta y el manejo diario de la alimentación llegan a participar hasta en 70% de los costos totales de confinamiento (Real y Rodríguez, 2007; De Beni *et al.*, 2013). El avance científico sobre las

exigencias de los animales y el valor nutritivo de los alimentos disponibles, ha permitido el conocimiento técnico y la información necesaria para balancear dietas de manera precisa de acuerdo a la categoría y nivel de producción desempeñado.

2.5 Contexto mundial de los granos de cereales y su importancia en la producción animal

La agricultura ha estado bajo una presión constante para cumplir con la creciente demanda de piensos, alimentos, fibra y bioenergía (Foley *et al.*, 2011; Holmgren, 2012). La producción mundial de cereales totales (trigo y cereales secundarios) en 2016/2017 se estima en 2,069 millones de toneladas (IGC, 2016), de las cuales aproximadamente un 44% se destinan a la alimentación de especies pecuarias (FIRA, 2008). La producción de granos a nivel mundial ha manifestado cambios importantes en los últimos años inclinándose principalmente para cubrir la demanda de consumo humano y energética (biocombustibles: etanol y ésteres).

La producción de etanol y ésteres (biodiesel) se obtiene de caña de azúcar y maíz, en el primer caso y oleaginosas como colza, soya o girasol para el biodiesel. Debido a esta movilización de la producción de cereales al sector bioenergético ha ocasionado un déficit en el sector pecuario, disminuyendo la producción de proteínas de origen animal y un incremento en los precios de adquisición (González, 2008). Lee-Rangel (2011), menciona que el efecto de sustitución en la producción de granos destinados a alimentación animal y que actualmente se utilizan para la obtención de biocombustibles debe contemplar también la cantidad de superficie apta que deja de sembrarse para uso en el sector pecuario.

2.5.1 Contexto nacional

En 2008 México produjo 37, 481,648 toneladas de granos; el maíz, sorgo y trigo representaron cerca del 94% de la producción total para ese ciclo, con 65.1%, 17.6% y 11.2%,

respectivamente (SAGARPA, 2011). En México, el maíz es el principal insumo utilizado en la elaboración de alimentos pecuarios, sin embargo, su producción se encuentra en recuperación, después de registrar el rendimiento más bajo de los últimos 10 años, durante el año 2011. En 2015 se alcanzó un rendimiento nacional de 24.95 millones de toneladas, similar al obtenido en el 2008 (FIRA, 2015).

El consumo de granos en México mantiene un crecimiento constante, en maíz según estimaciones de SAGARPA en 2014 mostraron un incremento en el consumo de 18.7% a tasa anual para ubicarse en 33.6 millones de toneladas (importaciones más producción nacional), de las cuales 63.9% corresponde a maíz blanco y el restante 36.1 a maíz amarillo (FIRA, 2015). El maíz blanco se destina principalmente para el consumo humano y el maíz amarillo para la industria pecuaria, donde el maíz amarillo representa el 74% del total consumido (FIRA, 2015).

México no es autosuficiente en la producción de granos, por lo cual requiere importar estos, lo cual se torna crítico cuando se reduce la disponibilidad o aumenta el precio, situación que se agrava al considerar el comportamiento estacional de la producción. La demanda y el consumo de granos como maíz por la industria y la ganadería permanecen constantes a lo largo del año; sin embargo, la producción interna para cubrir dicha demanda no tiene un comportamiento estable (FIRA, 2008).

2.6 Estructura y composición de los granos de cereales

La estructura de los granos de cereales está determinada por las prioridades reproductivas de la planta y el objetivo de producción para el cual fue seleccionada; la composición química varía entre las especies de planta y entre variedades dentro de las especies. En los granos de cereales hay tres tipos básicos de carbohidratos: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Ali *et al.*, 2014). Los monosacáridos son moléculas sencillas, constituidas por

una unidad aislada de polihidroxi-aldehído o cetona, formadas por 3, 4, 5, 6 y 7 átomos de carbono y el más abundante de ellos es la glucosa, azúcar de seis átomos de carbono, molécula energética más importante para los animales y una de sus funciones básicas es la síntesis del almidón y la celulosa (Van Soest, 1994).

El almidón es el polisacárido de almacenaje que contribuye al rendimiento de las plantas (60-80% de los granos de cereales) y es materia prima con aplicaciones industriales (Xu *et al.*, 2017). Es el componente principal en concentrados para alimentación animal, proporcionando una fuente de energía sustancial (Liu *et al.*, 2015). Su degradación en el fluido ruminal está influenciada por el contenido de almidón, composición del almidón (amilosa: amilopectina), y propiedades físicas del almidón (Wolters and Cone, 1992; Stevnebo *et al.*, 2006; Ali *et al.*, 2014; Moharrery *et al.*, 2014). El genotipo de maíz también ejerce un efecto directo en la degradación ruminal (Frei, 2000; Troyer, 2001; Duvick, 2005; Marton *et al.*, 2007; Cone *et al.*, 2008).

El almidón se compone principalmente de dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina unidas por puentes de hidrogeno (Ali *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2017). La amilosa es un polímero lineal de unidades de D-glucosa unidas por enlaces tipo α 1-4 (Jackson *et al.*, 2003; Xu *et al.*, 2017). La proporción de amilosa en el grano puede variar de 14 a 34 %, lo cual depende de la especie de cereal y de su genética. La amilopectina es un polímero ramificado que consiste en una cadena lineal de residuos de glucosa α (1-4), con ramificaciones α (1-6) cada 20 o 25 unidades (Ali *et al.*, 2014). En maíz la amilosa representa de 20-30% y la amilopectina un 70-80 % del almidón contenido en los granos de cereales (Ali *et al.*, 2014).

El almidón está formado por gránulos altamente organizados unidos a ésteres de fosfatos, proporcionando funcionalidades específicas a los almidones y haciéndolos más adecuados para diferentes aplicaciones industriales (Xu *et al.*, 2017). Los gránulos del almidón son pseudocristales que poseen regiones organizadas (cristalina) y no organizadas (amorfa;

Sadeghi y Shawrang, 2006). La región cristalina o micelar está compuesta principalmente de amilosa y presenta resistencia a la hidrólisis y al ataque enzimático (Cui y Oates, 1999; Vesterinen *et al.*, 2002; Svihus *et al.*, 2005).

La degradabilidad del almidón depende de la relación entre estos polímeros (Ali *et al.*, 2014) y se puede ver afectada por presencia de una matriz proteica que dificulta la acción de enzimas digestivas (Kotarski *et al.*, 1992). El aumento del área accesible y la rotura de la matriz proteínica es la principal causa de la degradabilidad ruminal del almidón del maíz y sorgo, cuando son procesados intensamente (Huntington 1997). Las proteínas y los carbohidratos estructurales asociados a los gránulos de almidón podrían alterar la degradación ruminal del mismo.

La industria pecuaria depende en gran medida de maíz, sorgo y cebada como las principales fuentes de energía. La estructura y composición del almidón de los cereales y sus interacciones con proteínas son determinantes en la digestibilidad y valor alimenticio del grano para los animales domésticos (Roney y Pflugfelder, 1986).

2.6.1 Importancia del procesamiento de los granos sobre la digestión de almidón en el fluido ruminal.

Los granos (principalmente maíz) son el concentrado energético por excelencia para la producción animal, compuesto por carbohidratos como almidón que constituyen el nutriente más abundante en la dieta de los rumiantes estabulados (USDA, 2011). Los granos se encuentran protegido por una pared celular fibrosa resistente a enzimas digestivas generándose una reducida disponibilidad del almidón, por consiguiente, es necesario llevar a cabo algún tipo de procesamiento del grano, para su adecuada utilización y aprovechamiento como recurso alimenticio (Ferraretto *et al.*, 2013).

Existen diferentes tratamientos físicos como quebrado, rolado y hojueleado o químicos como

adición de enzimas o álcalis que permiten aumentar la superficie de exposición del grano a la acción enzimática de los microorganismos ruminales, alterando tamaño de partícula, pericarpio y la matriz proteica, mejorando la digestibilidad del almidón y el valor energético de los granos (Ferraretto *et al.*, 2013). Un factor que influye en la disponibilidad del almidón es el grado de procesamiento de los granos y, por tanto, las características físico-químicas del grano (Lee-Rangel, 2011). El humedecimiento es un tratamiento que ha favorecido la actividad enzimática, aunque también puede reducir la digestibilidad del almidón, dicho procedimiento normalmente aumenta la energía metabolizable del grano (Huntington, 1997), el incremento de la energía depende de la temperatura, cantidad de vapor, tiempo de exposición y otros factores que modifican la cantidad de agua que entra al endospermo, y el grado de gelatinización el almidón.

La hidrólisis de almidón resulta de la actividad de diversas amilasas produciendo oligosacáridos, maltotriosas, maltosas, maltohexosas, maltopentosas, maltotetrosas, dextrinas y pequeñas cantidades de glucosa. La digestión del almidón en rumen está influenciada por la fuente de almidón, composición de la dieta, cantidad de alimento consumido, alteraciones mecánicas (grado de procesamiento y masticación) y químicas (grado de hidratación y gelatinización), así como por la adaptación de los microorganismos ruminales a la dieta (Ali *et al.*, 2014; Moharrery *et al.*, 2014). La tasa y extensión de la digestión del almidón se pueden controlar con el manejo del alimento, procesamiento del grano y el uso de aditivos alimenticios (Owens *et al.*, 1997).

La digestibilidad del almidón a nivel ruminal es llevada a cabo por bacterias ruminales (Ali *et al.*, 2014; Moharrery *et al.*, 2014). Determinadas especies bacterianas pueden digerir el almidón, aunque individualmente no producen todas las enzimas requeridas para digerir los granos de cereales; las especies bacterianas forman un complejo consorcio microbiano digestivo sobre la superficie del grano para digerirlo (McAllister *et al.*, 1994).

La α -amilasa y glucoamilasa son muy importantes en la hidrólisis del almidón en el rumen. La primera, una endohidrolasa, actúa en los enlaces glucosídicos α -1,4 de la amilasa y amilopeptina, produciendo oligosacáridos de bajo peso molecular y la glucoamilasa es una exohidrolasa que rompe enlaces α -1,4 del grupo final del almidón y de los fragmentos del almidón producidos por la hidrólisis de amilasa (Lee-Rangel, 2011). Esta enzima también puede romper enlaces α -1,6 aunque en forma limitada (Mendoza y Ricalde, 1993).

La fermentación microbiana, el pH ruminal, la cantidad de almidón disponible para la digestión, y la forma química y física del almidón pueden alterar la eficiencia de utilización del almidón y la conversión alimenticia por el rumiante (Theurer, 1986; Lee-Rangel, 2011).

2.6.2 Factores que afectan la digestión del almidón en rumiantes

La digestibilidad del almidón determina el comportamiento de los rumiantes alimentados con dietas altas en granos (Huntington, 1997) y es afectada por factores físicos y químicos como composición química y el grosor de la pared de las células que recubren el grano, factores antinutricionales, además su asociación con intracelular con proteínas puede impedir o disminuir el ataque enzimático (Cheng *et al.*, 1991).

2.6.3 Fermentación ruminal del almidón

La degradación ruminal del almidón por bacterias amilolíticas ocurre mediante la acción de la α -amilasa extracelular, la cual rompe la molécula del almidón (Yokoyama y Johnson, 1988). Después de la degradación del almidón a maltosa y glucosa, las bacterias sacarolíticas lo fermentan hasta piruvato que es la vía intermedia por la cual todos los carbohidratos deben pasar antes de ser convertidos en ácidos grasos volátiles (AGV). El total de AGV, así como las proporciones molares de acetato, propionato y butirato producidos en el rumen dependen del tipo de carbohidratos fermentados, tiempo y extensión de la degradación, especie

bacteriana y ambiente ruminal (Van Soest, 1994), y estos ácidos contribuyen con más del 95 % de los AGV producidos (Kebreab *et al.*, 2009). En rumiantes los AGV puede contribuir hasta 70 % de los requerimientos energéticos (Bergman, 1990).

Las dietas ricas en cereales tienden a producir una mayor proporción molar de ácido propiónico en relación a dietas ricas en forrajes (Orskov, 1986). Al respecto, Kawas *et al.* (2007) mencionan que las fermentaciones altas en propionato son energéticamente más eficientes. El propionato producido por la fermentación de carbohidratos en el rumen es un precursor importante para la síntesis de glucosa en los rumiantes, la producción de este parece adecuada para ofrecer hasta el 85 % de la glucosa que requieren vacas en lactancia.

2.6.4 Precursores de glucosa

Los granos de cereal están compuestos de 60-80% almidón (Ali *et al.*, 2014). La fermentación ruminal del almidón es la actividad metabólica de los organismos presentes en el rumen, y a través de esta, el rumiante obtiene los nutrientes como ácidos grasos volátiles (AGV: acético, propiónico y butírico) necesarios para el mantenimiento de las funciones biológicas (Aguilar-González *et al.*, 2016). Los AGV son rápidamente absorbidos a través del epitelio ruminal, sirviendo como fuente de energía para el animal. El propionato es el AGV más importante para la obtención de energía, es absorbido en el rumen y transportado al hígado, donde se convierte en glucosa (gluconeogénesis) que sirve como fuente energética o precursor de la síntesis de lactosa, proteína y grasa corporal (Escobar *et al.*, 2006). El propionato es el precursor primario de la síntesis de glucosa en rumiantes, contribuye hasta con 60 al 74% del carbono para la gluconeogénesis (Aschenbach *et al.*, 2010). Además, representa hasta el 80% de la energía aprovechable por el animal (Zhang *et al.*, 2015; Aguilar-González *et al.*, 2016). Sin embargo, el alto precio de los granos como maíz y sorgo, ha llevado a investigadores y especialistas del área animal a la búsqueda de alternativas para incrementar la ingesta

energética mediante el uso de ingredientes no convencionales. Varios productos y tecnologías se han desarrollado a lo largo de los años para optimizar la producción ganadera y lograr la máxima rentabilidad (Vendramini *et al.*, 2016). En ese contexto la inclusión de precursores de glucosa como glicerol, propilenglicol (Ferraro *et al.*, 2009) o propionato de calcio, representa una opción atractiva en la alimentación animal (Yan *et al.*, 2011). Sin embargo, como el propilenglicol puede ser metabolizado en compuestos tóxicos (Trabue *et al.*, 2007), solo el propionato de calcio o sodio puede ser utilizado como ingrediente en la dieta (Lee-Rangel *et al.*, 2012).

2.6.5 Propionato en nutrición de rumiantes

El propionato en rumiantes puede incrementar los niveles de ácido propiónico en rumen, mejorando el rendimiento de los animales al incrementar la energía disponible, también puede actuar como mediador metabólico (Liu *et al.*, 2009; 2010). Sano y Fujita (2006), mencionan que incrementar la concentración de propionato en rumen tiene influencia sobre la glucosa en sangre, metabolito importante que mejora la eficiencia energética y productiva (Waterman *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2010). El propionato es un estimulador de la secreción de la insulina, una hormona que actúa en el control de la saciedad (Lee-Rangel, 2011). Los efectos en la disminución del consumo de alimento se han observado al realizar infusiones de propionato (en rumen o vena) aun sin un incremento en las concentraciones de insulina (Allen *et al.*, 2006). La insulina podría tener efectos indirectos en el consumo de alimento por el incremento de precursores glucogénicos en el hígado, lo cual aumenta la llegada de metabolitos (glucosa) al torrente sanguíneo (Allen *et al.*, 2005).

La suplementación con aditivos gluconeogénicos disminuyen el pH ruminal mejora la digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, fibra detergente neutro y ácido (Sheperd y Combs, 1998). En contraste, estudios recientes no revelaron respuesta en variables

productivas y de rendimiento en canal de ovinos y bovinos en finalización alimentados con diferentes dosis de PCa (Lee-Rangel *et al.*, 2012; Mendoza-Martínez *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015). Liu *et al.* (2009), refieren que resultados inconsistentes pueden ser ocasionados por diferencias en características del animal (raza, estado fisiológico, condiciones de alimentación, etc.), condicionado respuestas diferentes a la suplementación con precursores.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-González M**, Buitrón G, Shimada-Miyasaka A, Mora-Izaguirre Ofelia. 2016. State of the art of bioelectrochemical systems: feasibility for enhancing rumen propionate production. *Agrociencia*. 50(2): 149-166.
- Ali M**, Cone JW, Hendriks WH, Struik PC. 2014. Starch degradation in rumen fluid as influenced by genotype, climatic conditions and maturity stage of maize, grown under controlled conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 193: 58-70.
- AMEG**, 2012. Carne de Bovino. Indicadores Económicos. [www. ameg.com](http://www.ameg.com). Consultado el 16 de julio del 2014.
- AMEG**. 2014. Estadísticas sobre el comercio mundial. Disponible en <http://www.ameg.org.mx/estadisticas/internacional/>. Consultado 1 de julio del 2015.
- AMEG**, 2015. Carne de Bovino. Indicadores Económicos del Sector. [www. ameg.com](http://www.ameg.com). Consultado el 1 de junio del 2015.
- Arroniz**, S. O. y Valladares, H. L. A. 2009. Estudio de factibilidad técnico financiera para el establecimiento de un hato bovino de doble propósito en Nuevo Morelos, Jesús Carranza, Veracruz. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Aschenbach JR**, Kristensen NB, Donkin SS, Hammon HM and Penner GB. 2010. Gluconeogenesis in dairy cows: The secret of making sweet milk from sour dough. *IUBMB Life*. 62:869–877.
- Blake RW** and Nicholson C. 2002. Livestock, land usage and environmental outcomes in the developing world. *In*: Eds: Owen, E., T. Smith, M. A. Steele, S. Anderson, A.J. Duncan, M. Herrero, J. D. Leaver, C. K. Reynolds, J. I. Richards, and J. C. Kú-Vera. Responding to the livestock revolution: the role for globalization and implication for poverty alleviation. BSAS Publication 33. Nottingham University Press.

- Bergman** EN. 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*. 70(2): 567-590.
- Canizares** GL, Goncalves H, Costa C, Rodrigues L, Menezes J, Gomes H, Marques R, Branco R. 2011. Use of high moisture corn silage replacing dry corn on intake, apparent digestibility, production and composition of milk of dairy goats. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40(4): 860-865.
- CONAGRO**. 2006. La ganadería en México. Documento informativo. <http://www.conagro.com/novedades/ganaderia.html>. Consultado el 6 de agosto del 2016.
- Cone** JW, Van-Gelder AH, Van-Schooten HA, Groten JAM. 2008. Effects of forage maize type and maturity stage on in vitro rumen fermentation characteristics. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*. 55(2), 139–154.
- Cui** R, Oates C, 1999. The effect of amylose–lipid complex formation on enzyme susceptibility of sago starch. *Food Chemistry*. 65(4): 417-425.
- De Beni** AM, Ludovico MC, Nave SLM, Sfaciotti BR, da Silva FMC, Vieira JLC, Perdigão A, Azevedo RF, Factori MA. 2013. Níveis elevados de concentrado na dieta de bovinos em Confinamento. *Veterinária e Zootecnia*. 20(4): 539-551.
- Duvick** DN. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*. 86: 83-145.
- Escobar** COE, Hernández SJR, Jaimes JJ. 2006. Evaluación de dietas altas en concentrado en novillos holstein. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 5:209-215.
- FAO**. 2009. La FAO en México: Más de 60 años de cooperación 1945-2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf. Consultado el 6 de agosto del 2016.

- FAO.** 2010. http://www.3tres3.com/buscando/fao-evolucion-mundial-delconsumo-de-carne_30869/. Consultado 25 de octubre de 2016.
- FAO.** 2013. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html>. Consultado 25 de octubre de 2016.
- Ferraro SM, Mendoza GD, Miranda LA and Gutiérrez CG.** 2009. *In vitro* gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology*. 154(1): 112-118.
- Ferraretto LF, Crump PM, Shaver RD.** 2013. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. 96(1):533-550.
- Financiera Rural.** 2012. Monografía de Carne Bovina. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. México, DF. Febrero, 2012.
- Financiera Rural.** 2015. Panorama de la carne y lana de ovino. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. México, DF. Febrero 2015.
- FIRA.** 2008. Situación Actual y Perspectivas de los Granos en México. Boletín informativo 32 Dirección de Consultoría en Agronegocios. 91 p.
- Foley J, Ramankutty N, Brauman KA, Cassidy ES, Gerber JS, Johnston M, Mueller ND, O'Connell C, Ray DK, West PC, Balzers C, Bennett EM, Carpenters SR, Hill J, Monfreda, C, Polasky S, Rockström J, Sheehan, J, Siebert S, Tilman D, Zaks DPM.** 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*. 478(7369): 337-342.
- Frei OM.** 2000. Changes in yield physiology of corn as a result of breeding in northern Europe. *Maydica*. 45(3): 173-183.
- González MA y Castañeda ZY.** 2008. Biocombustibles, biotecnología y alimentos: Impactos

sociales para México. Argumentos, UAM-X.

<http://scielo.unam.mx/pdf/argu/v21n57/v21n57a4.pdf>. Consultado 23/07/2014.

- Hawksworth J.** 2006. The world in 2050. Price water house Coopers, March 2006.
- Holmgren L.** 2012. The global need for food, fibre and fuel. Land use perspectives on constraints and opportunities in meeting future demand. *Kungl. Skogs-Och Lantbruksakademiens.* 4: 96.
- Huntington BG.** 1997. Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *Journal of Animal Science.* 75(3): 852-867.
- IGC.** 2016. Informe Mercado de Cereales. <http://www.igc.int/downloads/gmrsummary/gmrsumms.pdf>. Consultado el 25 de octubre del 2016.
- Jackson DS.** 2003. Starch: structure, properties, and determination. In: *Encyclopedia of Food Sciences Nutrition*, second ed. Academic Press, Oxford, pp.5561-5567.
- Kawas JR, Garcia-Castilo R, Fimbres-Durazo H, Garza-Cazares F, Hernandez-Vidal JFG, Olvares-Saenz E, and Lu CD.** 2007. Effects of sodium bicarbonate and yeast on nutrient intake, digestibility, and ruminal fermentation of Light-weight lambs fed finishing diets. *Small Ruminant Research.* 67: 149-156.
- Kebreab E, Dijkstra J, Bannink A and France J.** 2009. Recent advances in modeling nutrient utilization in ruminants. *Journal of Animal Science.* 87: 111-122.
- Kotarski SF, Waniska RD, Thurn KK.** 1992. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *The Journal of Nutrition.* 122(1): 178-190.
- Lee-Rangel HA.** 2011. Utilización de propionato de calcio en Borregos. [Tesis doctoral] Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, edo. De México 2011.
- Lee-Rangel HA, Mendoza GD, Gonzalez SS.** 2012. Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Animal Feed Science and Technology;* 177(3-4):

237-241.

Liu Q, Wang C, Guo G, Yang WZ, Dong KH, Huang YX, Yang XM, He DC. 2009. Effects of calcium propionate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Journal Agricultural Science*. 147(2): 201-209.

Liu Q, Wang C, Yang WZ, Guo G, Yang XM, He DC, Dong KH, Huang YX. 2010. Effects of calcium propionate supplementation on lactation performance, energy balance and blood metabolites in early lactation dairy cows. *Animal Physiology and animal Nutrition*. 94: 605-614.

Liu K, Liu Y, Liu SM, Xu M, Yu ZP, Wang X, Cao YC, Yao JH. 2015. Relationships between leucine and the pancreatic exocrine function for improving starch digestibility in ruminants. *Journal of Dairy Science*. 98(4): 2576-2582.

Magaña MJG, Ríos AG, Martínez GJC. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Revista Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14 (3): 105-114.

Marton CL, Kálmán L, Árendás T, Bónis P, Szieberth D. 2007. Comparison of some methods for estimating vegetation periods in maize. *Acta Agronomica Hungarica*. 55(1): 1-5.

McAllister TA, Bae HD, Jones GA and Cheng KJ. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of Animal Science*. 82: 3004-3018.

Mendoza MGD, Plata PFX, Espinoza CR, Lara B.A. 2008. Manejo nutricional para mejorar la utilización de la energía en bovinos. *Universidad y Ciencia*. 24(1): 75-87.

Mendoza MGD y Ricalde V. 1993. Alimentación de Ganado Bovino con Dietas Altas en Grano. Primera Edición. Libro de Texto. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. 97 p.

Mendoza-Martínez GD, Pinos-Rodríguez JM, Lee-Rangel HA, Hernández-García PA, Rojo-

- Rubio R and Relling A. 2015. Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*. 56(7): 1194-1198.
- Moharrery A, Larsen M, Weisbjerg MR.** 2014. Starch digestion in the rumen, small intestine, and hind gut of dairy cows-A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*. 192:1-14.
- Morais LJD, do Nascimento RAH, Antas US, do Vale MM, de Araújo ALP.** 2011. Alguns aspectos qualitativos da carne bovina: Uma Revisão. *Acta Veterinaria Brasílica*. 5(4): 351-358.
- Orskov ER.** 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*. 63(5): 1624- 1633.
- Owens FN, D. Secrist DS, WHill WJ and Gill DR.** 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 75: 868-879.
- Partida JAP, Braña VD, Jiménez SH, Rios RFG, Buendía RG.** 2013. Producción de carne ovina. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. SAGARPA. Libro técnico N° 5. Ajuchitlán, Querétaro, México. 116 p.
- SAGARPA.** 2011. www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/GRANOS.pdf. Consultado el 26 de enero del 2017.
- Sano H, Fujita T.** 2006. Effect of supplemental calcium propionate on insulin action to blood glucose metabolism in adult sheep. *Reproduction Nutrition Development, EDP Sciences*. 46 (1): 9-18.
- Sheperd AC, Combs DK.** 1998. Long-term effects of acetate and propionate on voluntary feed intake by midlactation cows. *Journal of Dairy Science*. 81: 2240-2250.
- Real HJJ y Rodríguez VS.** 2007. Estudio de mercado de la carne de bovinos en Nuevo Morelos, municipio de Jesús Carranza, estado de Veracruz. Tesis de licenciatura.

Departamento de zootecnia. UACH. México.

Rodríguez LG y Morales MM. 2015. Dinámica mundial de la producción y comercialización de la carne de bovino y su impacto en el mercado mexicano. *Economía Actual*. 8 (1): 1-5.

Rooney LW and Pflugfelder RL. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science*. 63: 1607-1623.

Sadeghi A, Shawrang P. 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal protein and starch degradation of corn grain. *Animal Feed Science and Technology*. 127(1-2): 113-123.

Santos FAP, Martinez JC, Carmo CA, Pedroso AM. 2004. Sistemas de alimentacao como mecanismos de flexibilidade para a producao de leite - Leite: uma cadeia produtiva em transformacao. In: *Anais do 4º Congresso Internacional do Leite; Campo Grande. Juiz de Fora: EMBRAPA. Brasil. p.117-62.*

Santos FAP, Moscardini MC. 2007. Substituicao de fontes de amido por subprodutos ricos em pectina ou fibra de alta digestibilidade na racao de bovinos confinados. In: *Anais do 3º Simposio de Nutricao de Ruminantes; Botucatu. Botucatu: Grupo Nutrir. Brasil. p.35-52.*

Svihus B, Uhlen AK, Harstad OM. 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review *Animal Feed Science and Technology*. 122: 303-320.

Stevnebo A, Sahlström S, Svihus B. 2006. Starch structure and degree of starch hydrolysis of small and large starch granules from barley varieties with varying amylose content. *Animal Feed Science and Technology*. 130(1-2): 23-38.

Tewolde A, Martínez GJC, Gutiérrez OE, Magaña JG. 2002. Utilización estratégica de los recursos genéticos para la intensificación de los sistemas de producción bovina de doble

propósito. Memorias. IX Curso Internacional de Reproducción Bovina.

Theurer B.C. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminant. *Journal of Animal Science*. 63(5): 1649-1662.

Trabue S, Scoggin K, Tjandrakusuma S, Rasmussen MA and Reilly PJ. 2007. Ruminant fermentation of propylene glycol and glycerol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(17): 7043-7051.

USDA (US Department of Agriculture). 2011. Feed grains: Yearbook tables. USDA. Accessed Nov. 18, 2011. <http://www.ers.usda.gov/data/FeedGrains/FeedYearbook.aspx>.

Van Soest PJ. 1994. *Nutrition Ecology of the Ruminants*. Cornell University Press, Ithaca. NY. 476 p.

Vendramini THA, Takiya CS, Silva TH, Zanferari F, Rentas MF, Bertoni JC, Consentini CEC, Gardinal R, Acedo TS, Rennó FP. 2016. Effects of a blend of essential oils, chitosan or monensin on nutrient intake and digestibility of lactating dairy cows.

Vesterinen E, Myllärinen P, Forssell P, Söderling E., Autio K. 2002. Structural properties in relation to oral enzymatic digestibility of starch gels based on pure starch components and high amylose content. *Food Hydrocolloids*. 16(2): 161-167.

Waterman RC, Sawyer JE, Mathis CP, Hawkins DE, Donart GB, Petersen MK. 2006. Effects of supplements that contain increasing amounts of metabolizable protein with or without Ca-propionate salt on postpartum interval and nutrient partitioning in young beef cows. *Journal of Animal Science*. 84: 433-446.

World Economic Forum. 2013. *Alcanzar la Nueva Visión para la Agricultura: nuevos modelos de acción*. Lima, Perú.

Wolters MG, Cone JW. 1992. Prediction of degradability of starch by gelatinization enthalpy as measured by differential scanning calorimetry. *Starch Biosystems Nutrition*

Biomedical. 44(1): 14-18.

Xu X, Deesa D, Dechesnea A, Xing-Feng H, Vissera RGF, Trindadea LM. 2017. Starch phosphorylation plays an important role in starch biosynthesis. *Carbohydrate Polymers*. 157: 1628-1637.

Yan Y, Chenbo L, Yelin Z, Tian W. 2011. Application of calcium propionate in animal production. *Feed Industry*. 16: 1005-1016.

Yokoyama MT and Johnson KA. 1988. Microbiology of the rumen and intestine. *In*: Church. D. C. (ed). *The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition*. Englewood Cliffs: Prentice Hall. pp: 125.

Zhang XZ, Qing-Xiang M, Lin L, Cui ZL and Li-Ping R. 2015. The effect of calcium propionate supplementation on performance, meat quality, and mRNA expression of finishing steers fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 24(2): 100-106.

CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBEJETIVO GENERAL

3.1 JUSTIFICACIÓN

El uso de suplementación energética tiene una función en la nutrición y alimentación de los rumiantes debido a sus funciones fisiológicas. Sin embargo, la información científica sobre el uso de propionato de calcio en bovinos para carne en pastoreo y finalización es escasa respecto al efecto de la adición de este producto y sus efectos metabólicos, así como, de sustitución de granos y su impacto sobre la calidad de la carne.

3.2 HIPÓTESIS

- La adición de propionato de calcio en dietas para novillos y ovinos en finalización, mejorará la concentración de propionato en el rumen.

3.3 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos del propionato de calcio en dietas para ovinos y bovinos para carne en finalización, sobre variables productivas, fermentación ruminal y digestibilidad del alimento.

**CAPÍTULO 4. EFECTO DE PROPIONATO DE CALCIO EN VARIABLES
PRODUCTIVAS Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN OVINOS
CONFINADOS**

**EFFECTO DE PROPIONATO DE CALCIO EN VARIABLES
PRODUCTIVAS Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN OVINOS
CONFINADOS**

Flores Santiago Ever del Jesus, Dr.

Colegio de Postgraduados 2017

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos niveles de propionato de calcio (PropCa) en rendimiento productivo, rendimiento en canal y costos de producción en 24 ovinos de la crucea dorper*pelibuey (peso inicial 27 ± 2 kg) asignados a un diseño completamente al azar a uno de tres tratamientos: 0, 1 y 2% de PropCa kg^{-1} de alimento, durante 42 días. La dieta consistió en 60:40 forraje: concentrado (base seca). Se observaron diferencias significativas en consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), rendimiento en canal caliente (RCC) y fría (RCF) por la inclusión de PropCa ($p < 0,05$). Grasa dorsal (GD), área de chuleta (ACh), peso vivo al sacrificio (PVS), peso de canal caliente (PCC) y fría (PCF), no se modificaron por la inclusión de PropCa ($p < 0,05$). Al incluir este precursor de glucosa se afecta la rentabilidad de la engorda, debido a una disminución en el ingreso neto de \$315.0 a \$281.3 y \$237.6, al incluir 0, 1 y 2% de PCa, respectivamente. Se concluyó que un incremento en la administración de PropCa en la dieta de ovinos mejora variables de rendimiento productivo y en canal, afectando el CMS y rentabilidad de la engorda.

Palabras clave: propionato de calcio, ovinos, rendimiento productivo.

**EFFECT OF CALCIUM PROPIONATE IN VARIABLES
PRODUCTS AND CHARACTERISTICS OF THE CHANNEL IN CONFINED SHEEP**

Flores Santiago Ever del Jesus, Dr.

Colegio de Postgraduados 2017

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of two levels of calcium propionate (PropCa) on yield, yield and production costs in 24 sheep of the cross dorper * pelibuey (initial weight 27 ± 2 kg) assigned to a Design completely randomized to one of three treatments: 0, 1 and 2% of PropCa kg⁻¹ of food, for 42 days. The diet consisted of 60:40 fodder: concentrate (dry basis). Significant differences were observed in dry matter intake (CMS), daily gain of weight (GW), feed conversion (CA), warm (RCC) and cold (FB) yields by inclusion of PropCa ($p < 0.05$). Dorsal fat (GD), chopped area (ACh), live weight at slaughter (PVS), warm (CWC) and cold (PCF) weight were not modified by the inclusion of PropCa ($p < 0.05$). Including this glucose precursor affects the profitability of fattening. It was concluded that an increase in the administration of PropCa in the sheep diet improves production and channel performance variables, affecting the CMS and profitability of fattening.

Key words: calcium propionate, sheep, productive yield.

4.1 INTRODUCCIÓN

El confinamiento es una estrategia integrada en los sistemas de producción para la finalización de animales. En esta etapa la alimentación representa hasta 70% del costo total de confinamiento (Arrigoni *et al.*, 2013; Rodrigues y Rondina, 2013). Donde los concentrados con base en granos pueden representar hasta 90% de la dieta total (Gimeno *et al.*, 2015). Los granos de cereal están compuestos de 60-80% almidón (Ali *et al.*, 2014) y a través de su fermentación ruminal, el rumiante obtiene una fuente importante de energía para mantenimiento de sus funciones biológicas (Moharrery *et al.*, 2014). Los ácidos grasos volátiles (AGV): acetato, propionato y butirato, son los mayores productos de la fermentación de los microorganismos ruminales y constituyen hasta 80% de la energía aprovechable para el animal (Aguilar-González *et al.*, 2016). El propionato es cuantitativamente el precursor más importante para la gluconeogénesis y obtención de glucosa, porque los rumiantes obtienen menos del 10% de sus requerimientos de este metabolito directamente por absorción en el intestino (Zhang *et al.*, 2015).

La energía es el producto más caro de la dieta de los rumiantes, debido en parte, por la demanda de granos y oleaginosas para la producción de etanol y biodiesel (Peripolli *et al.*, 2014). El uso de productos para reemplazar ingredientes, como el maíz y soya podría reducir los costos de alimentación y aumentar los beneficios en corrales de engorda (Ladeira *et al.*, 2016). En ese contexto la inclusión de precursores de glucosa como glicerol, propilenglicol (Ferraro *et al.*, 2009) o propionato de calcio, representa una opción atractiva en la alimentación animal (Yan *et al.*, 2011). Sin embargo, como el propilenglicol puede ser metabolizado en compuestos tóxicos (Trabue *et al.*, 2007), mientras que el propionato de calcio o sodio no tienen efectos negativos en la salud del animal (Lee-Rangel *et al.*, 2012). Por lo tanto, el objetivo de estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de propionato de calcio sobre variables productivas y características de la canal en ovinos.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Animales, dieta y periodo experimental

Se utilizaron 24 borregos machos de la craza dorper*pelibuey (peso inicial 27 ± 2 kg) y fueron asignados al azar en tres tratamientos (Cuadro 1). El alimento consistió en una dieta basal 60:40% forraje: concentrado, de acuerdo a los requerimientos nutricionales para ovinos (NRC, 2007).

Para separar los efectos se utilizaron cantidades de PCa al 1% y PCa al 2%, los cuales fueron mezclados junto con el concentrado, y posteriormente con el forraje para establecer los tratamientos dos y tres, el testigo no incluyo PCa (0%). El PCa usado en el experimento es de la empresa DRESEN QUIMICA, S.A. de C.V., México, y su precio fue de \$93 pesos por kg. Los animales fueron alojados en jaulas individuales equipadas con comederos y bebederos. El alimento se ofreció a las 8:00 y 15:00 h, en una proporción 60 y 40%, respectivamente, con agua *ad libitum* y un periodo de adaptación de 15 días. El experimento duro 42 días.

4.2.2 Análisis del alimento

Materia seca y nitrógeno total en las dietas se analizaron de acuerdo con la Association of Official Analytical Chemists (1999; Cuadro 1). Los análisis de Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente acido (FDA), extrato etéreo (EE) y cenizas de acuerdo a la metodología recomendada por Van Soest et al. (1991).

Cuadro 1. Dietas experimentales y composición química

Composición %MS	Test (0%)	1%	2%
Rastrojo de maíz	30	30	30
Alfalfa achicalada	30	30	30
Maíz molido	27	26	25
Pasta de soya	7	7	7
Melaza	5	5	5
Prem. Vit. y Min. ¹	1	1	1
Propionato de calcio ²	-	1	2

Composición química %MS			
MS	90.78	90.72	90.32
PC	12.56	12.47	12.38
FDN	37.51	37.29	37.32
FDA	31.73	31.70	31.54
EM, Mcal/kg	2.47	2.44	2.41
EE	1.26	1.24	1.21
Cenizas	6.79	6.99	6.85

¹Vitalis Engorda Ovino Plus® cada kg contiene: Ca 27 %, P 3 %, Mg 0.75 %, Na 6.55 %, Cl 10 % y K 0.05; S 42 ppm, lasalocida 2000 ppm, vitamina A 35000 ppm, Mn 2000 ppm, Fe 978 ppm, Fe 3000 ppm, Y 50 ppm, Se 20 ppm y Co 15 ppm; vitamina D 150000 UI y vitamina E 150 UI.

4.2.3 Ensayo de crecimiento

Las variables evaluadas fueron: consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso

(GDP), conversión alimenticia (CA; relación entre consumo de alimento kg/kg de ganancia de peso), peso vivo al sacrificio (PVS), peso de canal caliente (PCC), peso de canal fría (PCF), rendimiento de canal caliente (RCC), rendimiento de canal fría (RCF), grasa dorsal (GD) y área de chuleta (ACh). Los corderos se pesaron cada 14 días para estimar la GDP. Después de un periodo de ayuno de 24 h los borregos fueron pesados para obtener el PVS. Inmediato al sacrificio se determinó el PCC. Posteriormente las canales se guardaron en una cámara frigorífica a -4°C ; transcurrida 24 h postsacrificio se determinó el PCF. Con los datos obtenidos durante el sacrificio se registró el RCC (PCC/PVS) y RCF (PCF/PVS), respectivamente (Hernández *et al.*, 2009). La GD y ACh se determinó por ultrasonografía (Silva *et al.*, 2005).

4.2.4 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante el procedimiento PROC MIXED, para un diseño completamente al azar con 8 repeticiones (SAS, 2002). Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

4.3 RESULTADOS

El consumo de materia seca (CMS) no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$), entre los tratamientos que incluyeron propionato de calcio (PropCa) al 1 y 2%, pero sí con respecto al tratamiento testigo ($P < 0.05$) el cual fue mayor, comparado a los tratamientos con PropCa.

La ganancia de peso (GDP) y conversión alimenticia (CA), mejoraron de manera significativa al incluir diferentes niveles de PropCa, ($P < 0.05$), obteniendo la mejor GDP y CA en animales que fueron alimentados con el nivel más alto (2%) de PropCa (Cuadro 2). Grasa dorsal (GD) y área de chuleta (ACh) no se modificó por la inclusión de PropCa ($P > 0.05$).

Cuadro 2. Rendimiento de corderos alimentados con propionato de calcio

RENDIMIENTO DE CORDEROS ALIMENTADOS CON PROPIONATO DE CALCIO				
Dietas Experimentales				
	Test (0%)	1%	2%	EE
CMS Kg/día	1.42 b	1.34 a*	1.31 a*	0.037
GDP (kg)	0.25 c	0.27 b	0.29 a*	0.090
CA	5.74 c	5.11 b	4.62 a*	0.162
GD	2.5	2.4	2.5	0.198
ACh	787.81	809.81	818.00	28.73

Medias con minúsculas iguales por hilera no son diferentes ($P>0.05$). *Significativo; **Altamente significativo; EE: Error estándar. CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia; GD: grasa dorsal; ACh: área de chuleta.

Cuadro 3. Características de la canal en corderos alimentados con propionato de calcio

Dietas Experimentales				
VARIABLES	Test (0%)	1%	2%	EE
PVS	35.4	37.5	36.8	1.2
PCC	19.1	21.0	21.1	0.72
PCF	18.5	20.3	20.7	0.71
RCC	53.8 b	56.1 a*	57.4 a**	0.51
RCF	52.3 b	54.3 a*	56.2 a**	0.49

Medias con minúsculas iguales por hilera no son diferentes ($P>0.05$). *Significativo; **Altamente significativo; EE: Error estándar. PVS: peso vivo al sacrificio; PCC: peso de canal caliente; PCF: peso de canal fría; RCC: rendimiento canal caliente; RCF: rendimiento canal fría.

No hubo efecto por inclusión de PropCa sobre peso vivo al sacrificio (PVS), peso de canal caliente (PCC) y peso de canal fría (PCF). La dieta con 2% PropCa presento diferencia altamente significativa y significativa con respecto a la que incluía 1% PropCa y la dieta testigo en las variables RCC y RCF, respectivamente ($P < 0.05$; Cuadro 3).

Cuadro 4. Análisis económico por animal por concepto de alimentación (\$), cuando se incluyen diferentes niveles de propionato de calcio en la dieta para corderos dorper*pelibuey.

	Tratamientos (% de propionato de calcio)		
	Test (0%)	1%	2%
Costos por alimentación			
Duración de la engorda (días)	42	42	42
Costo de la dieta (\$/kg)	3.36	4.20	5.04
Costo del kg CMS/día/animal (\$)	4.70	6.38	8.23
Costo total (\$)	199.1	266.8	349.3
Retornos			
PGT (kg/animal)	10.6	11.3	12.1
Precio del kg en pie (\$)	48.5	48.5	48.5
ingreso por venta de carne/animal (\$)	514.1	548.1	586.9
ingreso neto	315.0	281.3	237.6

\$/kg= costo por kilogramo de alimento; CMS= consumo de materia seca; PGT= peso ganado total; \$= costo por kg de alimento. Precio del dólar= 16.8 pesos mexicanos 2015.

El Cuadro 4, muestra el análisis económico de alimentación. La inclusión de PCa en 1 y 2% en la dieta incrementa los costos de alimentación, la ganancia de peso total e ingresos por venta durante el periodo de 42 días, con respecto al testigo (0%). Sin embargo, el balance económico al restar el costo de alimentación al ingreso por venta es negativo, ocasionado un efecto adverso en la rentabilidad al incrementar el porcentaje de propionato en la dieta y durante el ciclo de producción. Es importante señalar que la inclusión de propionato de calcio en las dietas de rumiantes surge de la necesidad de búsqueda de alternativas para disminuir los costos de alimentación al reducir el uso de granos por su incremento constante en el precio.

4.4 DISCUSIÓN

El propionato es importante en el metabolismo de los rumiantes como el principal precursor de glucosa hepática a través de la gluconeogénesis (Radojičić *et al.*, 2016), aunque también puede actuar de forma independiente como mediador metabólico (Harmon, 1992), suprimiendo el CMS. Un incremento en la síntesis hepática de glucosa mejora la disponibilidad de energía para el animal (Aguilar-González *et al.*, 2016), con un efecto positivo en su rendimiento (Liu *et al.*, 2009) GDP y CA.

Los resultados obtenidos al incluir PropCa en la alimentación de ovinos y su efecto en variables CMS, GDP y CA (Cuadro 2) fueron similares a los obtenidos por Oba y Allen (2003) en la ingesta de alimento, quienes observaron una disminución en el CMS al infundir propionato de sodio (las concentraciones de propionato fueron 0, 20, 40, 60, 80 y 100% del total de los AGV infundidos a través de una solución de 28.1 mol de AGV en 18 L de agua desionizada) vía ruminal en vacas en lactancia temprana y lactancia media ($P < 0.05$). De manera similar Villalba *et al.* (1996), reportaron que la suplementación con PropCa (4%: 414 mmol; 8%: 828 mmol y 12%: 1242 mmol) disminuyó el CMS. A mayor abundamiento

autores observaron que la suplementación con PropCa tuvo en efecto hipofágico en el CMS (Rigout *et al.*, 2003; Bradford y Allen, 2007). Al respecto Whitney *et al.* (2000), observaron una mayor GDP en terneros asociada a incrementos en la producción de propionato ruminal. Otros estudios difieren de lo reportado, Lee-Rangel *et al.* (2012), no obtuvieron diferencias significativas cuando incluyeron 10 g kg⁻¹ de PropCa para corderos alimentados con 55 y 65% de concentrado en CMS, GDP y CA (P > 0.05). Por su parte Zhang *et al.* (2013; 2015) no reportaron diferencias significativas al suplementar novillos Wagyu con 200 g d⁻¹ de PropCa (P > 0.05). Mendoza-Martínez *et al.* (2015), no encontraron diferencias significativas en corderos suplementados con diferentes niveles de PropCa (10 y 20 g kg⁻¹ de dieta) en respuesta al CMS, GDP y CA (P > 0.05), respectivamente.

La disminución en el CMS al incluir 1 y 2% de propionato en el presente estudio, se puede deber a que la tasa de entrada de propionato supera la capacidad de gluconeogénesis en el animal y el exceso de propionato puede ser oxidado después de ser convertido en acetil-CoA; el aumento resultante en el estado de energía intracelular puede conducir a la saciedad y disminuir el CMS (Oba y Allen, 2003). Al respecto Zhang *et al.* (2015) mencionan que los resultados obtenidos de estudios actuales sobre la inclusión de PropCa en la alimentación de rumiantes tiene inconsistentes efectos sobre el CMS, lo cual se puede deber al nivel de nutrición del animal, el tipo de dieta base (relación forraje: concentrado) y la dosis suministrada de PropCa en el alimento (Liu *et al.*, 2009).

La mejora en GDP y CA se pudo deber a un incremento en la disponibilidad de glucosa por el animal, asociada a una mayor producción de propionato a nivel ruminal, probablemente como efecto de la suplementación exógena con PropCa en el alimento (Whitney *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2009), lo cual disminuyó el CMS e incremento la eficiencia de utilización de misma. Al respecto autores, informaron que la infusión de PropCa incremento la proporción molar de propionato en rumen (Villalba y Provenza, 1997; Rigout *et al.*, 2003). Un incremento en la

proporción de ácido propiónico produce una mejor partición de energía (Agnew y Yan, 2000), lo cual puede mejorar la GDP (Whitney *et al.*, 2000) y CA (Richardson *et al.*, 20003).

GD y ACh no se modificaron al incluir PropCa en la dieta de ovinos (Tabla 2; $P > 0.05$). Resultados similares fueron reportados por Mendoza Martínez *et al.* (2015) quienes no encontraron diferencias al adicionar 10 y 20 g kg⁻¹ de PropCa en la dieta de ovinos en finalización. Al respecto, Lee-Rangel *et al.* (2012) reportaron que el área de chuleta fue mayor con 650 g kg⁻¹ de grano en la dieta de ovinos. Seabrook *et al.* (2011) refieren que incrementar la inclusión de granos en alimentación animal incrementa la deposición de grasa dorsal, disminuyendo el área de chuleta; aunado a edad, raza, peso y sexo del animal, factores que afectan el ACh (Wilches *et al.*, 2011). Rufino *et al.* (2013), mencionan que la falta de respuesta en estas variables, se puede explicar por la relación inversa que existe entre GD y ACh, al disminuir la deposición de grasa cuando se incrementa la deposición de músculo o viceversa. De acuerdo a los resultados en el presente estudio podemos inferir que la falta de diferencia en GD y ACh puede ser resultado la homogeneidad en la alimentación (mismo nivel energético, lo que no permitió un mayor engrasamiento entre tratamientos) y al mismo grado de madurez en los corderos al momento del sacrificio.

La inclusión de PropCa en la dieta de corderos en el presente estudio no mostro efectos sobre el PVS, PCC y PCF (Cuadro 3); los resultados concuerdan con los obtenidos por Lee-Rangel *et al.* (2012) y Mendoza-Martínez *et al.* (2015) quienes no encontraron diferencias en rendimiento en canal caliente en corderos alimentados con PropCa lo cual apunta a que las diferencias en el consumo de energía no fueron lo suficientemente altas para producir cambios evidentes en estas variables, aunado al PVS similar que presentaron los corderos en los diferentes tratamientos. Los resultados reportados por Carvalho *et al.* (2015) para RCC y RCF, difieren de los encontrados en el presente estudio (Cuadro 3); estos autores encontraron una disminución lineal en dichas variables al incrementar las concentraciones de glicerina

cruda en las dietas ($P \leq 0,02$).

La mejora en RCC y RCF al incluir 1 y 2% de PropCa en la alimentación de corderos, puede estar relacionado con las características de la dieta; al respecto estudios han demostrado que borregos suplementados con concentrados presentan mayor rendimiento en canal que los finalizados en pastoreo (Borton *et al.*, 2005), situación que explica los resultados obtenidos en el presente estudio. Además, las diferencias podrían ser debido al mayor grado de acabado de los corderos.

El análisis económico muestra que la dieta que no contenía PropCa presento el menor costo (\$3.36), en comparación con tratamientos que incluyeron propionato de calcio al 1% (\$4.20) y 2% (\$5.04), respectivamente. Con la inclusión de PropCa en la dieta, los ingresos por concepto de venta disminuyeron de \$315.0 a \$237.6, en comparación con la dieta que no contenía el precursor de glucosa, representando una disminución de 10.7 (1% PropCa) y 24.6% (2% PropCa). Los resultados están referidos con base a un animal, durante el periodo de engorda. Este escenario sugiere que incorporar PropCa en las dietas incrementa los costos de producción, disminuyendo la rentabilidad en la engorda de corderos.

4.5 CONCLUSIÓN

Los resultados indican que adicionar PropCa (en 1 y 2%) en la dieta de ovinos puede mejorar la GDP, CA, RCC y RCF; sin embargo, se disminuye el CMS. La inclusión de PropCa en 1 o 2% afecta negativamente la rentabilidad de la engorda.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-González M**, Buitrón G, Shimada-Miyasaka A, Mora-Izaguirre Ofelia. 2016. State of the art of bioelectrochemical systems: feasibility for enhancing rumen propionate production. *Agrociencia*. 50(2): 149-166.
- Agnew RE**, Yan T. 2000. Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livestock Production Science*. 66 (3):197-215.
- Ali M**, Cone JW, Hendriks WH, Struik PC. 2014. Starch degradation in rumen fluid as influenced by genotype, climatic conditions and maturity stage of maize, grown under controlled conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 193: 58-70.
- AOAC**, 1999. *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, V.A., USA. 76 p.
- Arrigoni MDB**, Ludovico MC, Nave SLM, Sfaciotti BR, da Silva FMC, Vieira JLC, Perdigão A, Azevedo RF, Factori MA. 2013. Níveis elevados de concentrado na dieta de bovinos em Confinamento. *Veterinária e Zootecnia*. 20(4): 539-551.
- Borton RJ**, Loerch SC, McClure KE, Wulf DM. 2005. Comparison of characteristics of lambs fed concentrate or grazed on ryegrass to traditional or heavy slaughter weights. I. Production, carcass, and organoleptic characteristics. *Journal Animal Science*. 83(3): 679-685.
- Bradford BJ**, Allen MS. 2007. Phlorizin administration does not attenuate hypophagia induced by intraruminal propionate infusion in lactating dairy cattle. *The Journal of Nutrition*. 137(2): 326-330.
- Ferraro SM**, Mendoza GD, Miranda LA, Gutiérrez CG. 2009. In vitro gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology*. 154(1-2): 112-118.
- Gimeno A**, Al Alami A, Toral PG, Frutos A, Abecia L, Fondevila M, Castrillo C. 2015.

- Effect of grinding or pelleting high grain maize- or barley-based concentrates on rumen environment and microbiota of beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*. 203: 67-78.
- Hernández CL**, Ramirez BJE, Guerrero LMI, Hernández MO, Crosby GMM and Hernández CLM. 2009. Effects of crossbreeding on carcass and meat quality of Mexican lambs. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 61(2): 475-483.
- Ladeira MM**, JRR Carvalho, ML Chizzotti, PD Teixeira, JCO Dias, TRS Gionbellia, AC Rodriguesa, DM Oliveira. 2016. Effect of increasing levels of glycerin on growth rate, carcass traits and liver gluconeogenesis in young bulls. *Animal Feed Science and Technology*. 219: 241-248.
- Lee-Rangel HA**, Mendoza GD, Gonzalez SS.2012. Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Animal Feed Science and Technology*. 177(3-4): 237-241.
- Liu Q**, Wang C, Guo G, Yang WZ, Dong KH, Huang YX, Yang XM, He DC. 2009. Effects of calcium propionate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Journal Agricultural Science*. 147(2): 201-209.
- Mendoza-Martínez GD**, Pinos-Rodríguez JM, Lee-Rangel HA, Hernández-García PA, Rojo-Rubio R and Relling A. 2015. Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*. 56(7): 1194-1198.
- Moharrery A**, Larsen M, Weisbjerg MR. 2014. Starch digestion in the rumen, small intestine, and hind gut of dairy cows-A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*; 192:1-14.

- NRC** (National Research Council). 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Washington, DC, USA. National Academy Press. 362 p.
- Oba M** and Allen MS. 2003. Dose-response effects on intraruminal infusion of propionate on feeding behavior of lactating cows in early or midlactation. *Journal Dairy Science*. 86(9): 2922-2931.
- Peripolli V**, Prates ER, Barcellos JOJ, Wilbert CA, Camargo CM, Lopes RB, Costa JJBG. 2014. Effect of crude glycerol on in-vitro ruminal fermentation kinetics. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 15(1): 172-181.
- Rigout S**, Hurtaud C, Lemosquet S, Bach A, Rulquin H. 2003. Lactational effect of propionic acid and duodenal glucose in cows. *Journal Dairy Science*. 86(1): 243-253.
- Radojičić B**, Joksimović-Todorović M, Bukvić M, Simeunović P, Kakishev M, Pračić N. 2016. The influence of sodium propionate on blood glucose, insulin and cortisol concentrations in calves of different ages. *Acta Veterinaria Brno*. 85(2): 127-132.
- Rodrigues FV**, Rondina D. 2013. Alternativas de uso de subprodutos da cadeia do biodiesel na alimentação de ruminantes: glicerina bruta. *Acta Veterinaria Brasilica*. 7(2): 91-99.
- Richardson JM**, Wilkinson RG, Sinclair LA. 2003. Synchrony of nutrient supply to the rumen and dietary energy source and their effects on the growth and metabolism of lambs. *Journal Animal Science*. 81(5): 1332–1347.
- Rufino LDA**, Pereira OG, Ribeiro KG, Valadares FSC, Cavali J, Paulino PVR. 2013. Effect of substitution of soybean meal for inactive dry yeast on diet digestibility, lambs growth and meat quality. *Small Ruminant Research* 111(1-3): 56-62.
- SAS**. 2002. SAS User's Guide. Statistics (Release 8.02). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Seabrook JL**, Peel RK, Engle TE. 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(2-3): 97-103.
- Silva SR**, Gomes MJ, Días-da-Silva A, Gil LF, Azevedo JM. 2005. Estimation in vivo of the body and carcass chemical composition of growing lambs by real-time ultrasonography. *Journal Animal Science*. 83(): 350–357.
- Trabue S**, Scoggin K, Tjandrakusuma S, Rasmussen MA, Reilly PJ. 2007. Ruminant fermentation of propylene glycol and glycerol. *J. Agric. Food Chem.* 55: 7043-7051.
- Van Soest PJ**, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and nonstarch carbohydrates in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*. 74, 3583–3597.
- Villalba JJ**, Frederick D, Provenza FD. 1996. Preference for flavored wheat straw by lamb conditioned with intraruminal administrations of sodium propionate. *Journal of Animal Science*. 74(10): 2362-2368.
- Villalba JJ & Provenza FD**. 1997. Preference for flavored wheat straw by lambs conditioned with intraruminal infusions of acetate and propionate. *Journal of Animal Science* 75(11), 2905–2914.
- Wilches D**, Rovira J, Jaime I, Palacios C, Lurueña MMA, Vivar QAM, Revilla I. 2011. Evaluation of the effect of a maternal rearing system on the odor profile of meat from suckling lamb. *Meat Science* 88(3): 415-423.
- Whitney MB**, Hess BW, Burgwald-Balstad LA, Sayer JL, Tsopito CM, Talbott CT, Hallford DM. 2000. Effects of supplemental soybean oil level on *in vitro* digestion and performance of prepubertal beef heifers. *Journal of Animal Science*. 78(3): 504-514.
- Yan Y**, Chenbo L, Yelin Z, Tian W. 2011. Application of calcium propionate in animal production. *Feed Industry*. 16: 1005-1016.
- Zhang XZ**, Lin L, Qing-Xiang M, Li-Wen H, Li-Ping R. 2013. Effects of supplemental

propionate calcium on growth and blood indexes of the high concentrate finishing beef cattle. *Journal of China Agricultural University*. 18(3): 115-119.

Zhang XZ, Qing-Xiang M, Lin L, Cui ZL and Li-Ping R. 2015. The effect of calcium propionate supplementation on performance, meat quality, and mRNA expression of finishing steers fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 24(2): 100-106.

**CAPÍTULO 5. EFECTOS DE PROPIONATO DE CALCIO EN FERMENTACIÓN
RUMINAL, GLUCOSA EN PLASMA Y DIGESTIBILIDAD DEL ALIMENTO EN
BOVINOS PARA CARNE**

**EFECTOS DE PROPIONATO DE CALCIO EN FERMENTACIÓN RUMINAL,
GLUCOSA EN PLASMA Y DIGESTIBILIDAD DEL ALIMENTO EN BOVINOS
PARA CARNE**

Flores Santiago Ever del Jesus, Dr.

Colegio de Postgraduados 2017

RESUMEN

El objetivo de estudio fue evaluar la inclusión de propionato de Calcio (PCa) y su efecto en glucosa en plasma, fermentación ruminal y digestibilidad del alimento en novillos. Seis novillos Holstein de 380 ± 20 kg de peso vivo, con cánula ruminal permanente fueron usados en un diseño de cuadrado latino 3x3 replicado, con tres periodos de evaluación de 15 días y un periodo inicial de adaptación de 15 días. Los tratamientos fueron: T0 (0 g), T1 (100 g) y T2 (200 g) de PCa por animal d^{-1} . La dieta consistió en una relación 60:40 forraje: concentrado (base seca). El consumo de materia seca (MS), se restringio a 10 kg animal d^{-1} . La adición de PCa de calcio en la dieta incremento el nivel de glucosa en plasma, respecto al testigo ($P < 0.05$). Las dietas con un mayor nivel de PCa condujeron a una menor proporción molar de acetato y una mayor proporción molar de propionato en rumen ($P < 0.05$). No hubo diferencias ($P < 0.05$) con respecto al tratamiento testigo en la concentración de $N-NH_3$ y pH ruminal por la adición de PCa. La cinética de digestión ruminal *in situ* de MS, FDN y FDA, no presentó diferencias al incluir PCa en las dietas experimentales. Los resultados indican que el incremento en glucosa en plasma y concentración de propionato en rumen se pudo deber a la suplementación con PCa en la dieta y no a una modificación en la fermentación ruminal y digestibilidad del alimento.

Palabras clave: Bovinos, glucosa, propionato en rumen y cinética de digestión.

EFFECTS OF PROPIONATE OF CALCIUM IN RUMINAL FERMENTATION, GLUCOSE IN PLASMA AND DIGESTIBILITY OF FOOD IN BEEF CATTLE

Flores Santiago Ever del Jesus, Dr.

Colegio de Postgraduados 2017

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the inclusion of calcium propionate (PCa) and its effect on plasma glucose, ruminal fermentation and feed digestibility in steers. Six Holstein steers (380 ± 20 kg live weight) with permanent ruminal cannula were used in a replicated 3x3 Latin square design with three 15-day evaluation periods and an initial 15-day preadaptation period. The treatments were: T0 (0 g), T1 (100 g) and T2 (200 g) of animal PCa per day. The diet consisted of a 60:40 forage: concentrate ratio (dry basis). Dry matter intake (DM) was restricted to 10 kg of animal per day. The level of calcium in the diet modifies the plasma glucose level ($P < 0.05$). Diets with a higher level of PCa led to a lower molar ratio of acetate and higher molar proportions of propionate in rumen ($P < 0.05$). There was no effect on N-NH₃ and ruminal pH by PCa supplementation. The ruminal kinetics of in situ digestion of DM, NDF and ADF did not present differences when PCa was included in the experimental diets. The results indicate that the differences found are due to supplementation with PCa in the diet and not to a modification in ruminal fermentation and digestibility of the food.

Key words: Calcium propionate, glucose, ruminal fermentation and digestibility

5.1 INTRODUCCIÓN

El propionato que los rumiantes necesitan como precursor para la síntesis hepática de glucosa proviene de la fermentación ruminal de carbohidratos en ácidos grasos volátiles (AGV) y representa hasta el 80% de la energía aprovechable por el animal (Zhang *et al.*, 2015; Aguilar-González *et al.*, 2016). La principal fuente para la gluconeogénesis es el propionato (Larsen y Kristensen, 2009; Aschenbach *et al.*, 2010) y aporta entre 32 a 73% de la glucosa hepática sintetizada en rumiantes (Oh *et al.*, 2015; Radojicic *et al.*, 2016). El propionato se suministra principalmente por fermentación de dietas altas en concentrado y dado que el precio de los granos ha ido en aumento afectando el sector ganadero, se requieren fuentes alternativas de alimento que reduzcan el costo de la dieta (Paiva *et al.*, 2016), mejoren la eficiencia de alimentación (EA) y fermentación ruminal (FR; Liu *et al.*, 2008). Para mejorar la EA se deben minimizar las pérdidas de energía a través de una mejor digestibilidad de la dieta y manipulación de la fermentación hacia la producción de propionato.

El propionato de calcio (PCa) es un precursor de glucosa (Lee-Rangel *et al.*, 2012) que se ha utilizado como un suplemento energético, aumentando la concentración de propionato en rumen. Al respecto, Sano y Fujita (2006), mencionan que incrementar el propionato ruminal tiene influencias sobre la glucosa en sangre, metabolito importante que mejora la eficiencia energética y productiva (Waterman *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2010). La suplementación con aditivos gluconeogénicos disminuyen el pH ruminal (Rigout *et al.*, 2003), mejorando la digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido (Sheperd y Combs, 1998). En contraste, estudios recientes no revelaron respuesta en variables productivas y en el rendimiento en canal de ovinos y bovinos en finalización alimentados con diferentes dosis de PCa (Lee-Rangel *et al.*, 2012; Mendoza-Martínez *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015). Liu *et al.* (2009), refieren que los resultados inconsistentes que se

han reportado, pueden ser ocasionados por diferencias en las características de los animales experimentales (raza, estado fisiológico, condiciones de alimentación, etc.).

En México la información sobre la respuesta a la inclusión de PCa en la alimentación de rumiantes es escasa. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue investigar los efectos de adicionar propionato de calcio (PCa) en la dieta de bovinos para carne sobre pH, fermentación ruminal, glucosa en plasma y digestibilidad del alimento.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1 Animales y diseño experimental

Seis novillos de la raza Holstein con cánula ruminal permanente, con una edad promedio de 3 años y 380 ± 20 kg de peso corporal (PC), fueron asignados a uno de tres tratamientos en un cuadrado latino 3x3 replicado. Los tratamientos consistieron en adicionar una dosis de propionato de Calcio (PCa) de: 0, 100 y 200 g por animal por día, respectivamente. El fabricante del PCa fue la industria de materias primas DRESEN QUIMICA, S.A. de C.V., México. La dieta consistió en 60% forraje y 40% concentrado (Tabla 1). La alimentación se restringió a 10 kg/animal/día. Los novillos se sometieron a un periodo de adaptación previo de 15 días, posteriormente los periodos experimentales fueron de 15 días, con 12 días de adaptación y 3 días de toma de muestras. Los novillos se alojaron en corrales individuales (30 m²) con libre acceso a agua, el alimento se ofreció a las 08:00 y 15:00 h durante todo el experimento (14 de noviembre 2015 al 12 de enero del 2016). El contenido de materia seca y proteína cruda en las dietas se analizaron de acuerdo con la Association of Official Analytical Chemists (1999; Cuadro 5). Los análisis de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y cenizas se realizaron de acuerdo a la metodología descrita por Van Soest *et al.* (1991). El EE se determinó mediante método de Soxhlet.

5.2.2. Análisis del alimento

Cuadro 5. Dietas experimentales y composición química

Composición %MS	Test (0%)	1%	2%
Rastrojo de Maíz	30	30	30
Alfalfa Achicalada	30	30	30
Maíz Molido	27	26	25
Pasta de Soya	7	7	7
Melaza	5	5	5
Prem. Vit. y Min.¹	1	1	1
Propionato de Calcio²	-	1	2
Composición química %MS			
MS	90.78	90.72	90.32
PC	12.56	12.47	12.38
FDN	37.51	37.29	37.32
FDA	31.73	31.70	31.54
EM, Mcal/kg	2.47	2.44	2.41
EE	1.26	1.24	1.21
Cenizas	6.79	6.99	6.85

¹Vitasal Engorda Ovino Plus® cada kg contiene: Ca 27 %, P 3 %, Mg 0.75 %, Na 6.55 %, Cl 10 % y K 0.05; S 42 ppm, lasalocida 2000 ppm, vitamina A 35000 ppm, Mn 2000 ppm, Fe 978 ppm, Fe 3000 ppm, Y 50 ppm, Se 20 ppm y Co 15 ppm; vitamina D 150000 UI y vitamina E 150 UI. ²Propical (Sal de calcio del ácido propiónico), polvo fino, blanco y pureza mínima de 94%. DRESEN QUIMICA, S.A. de C.V.

5.2.3 Degradación *in situ*

Se determinó la degradación *in situ* de MS, FDN y FDA usando método ANKOM® F57 (ANKOM Technologies, Macedon, NY, USA, 2010). Antes de iniciar el experimento, las bolsas se colocaron en una estufa de aire forzado a 65° C durante 24 h, fueron estabilizadas en un desecador, y pesadas. Se depositó en cada bolsa, por duplicado, 0.5 g de las dietas experimentales previamente molidas en un molino Wiley con malla de 2 mm; las bolsas se sellaron mediante calor utilizando un termosellador IMPULSE SEALER modelo AIE-200. Las bolsas se introdujeron en una malla que se colocó en la parte ventral del rumen. Las bolsas se dejaron en el rumen por 0, 4, 8, 12, 16, 24, 48 y 72 h. Una bolsa sin muestra se incubó en rumen para cada tiempo como control. Se utilizaron 144 bolsas por cada periodo de muestreo, 24 por animal, 3 por cada tiempo de incubación las cuales se sumergieron en agua tibia (38° C) por 5 min antes de ser depositadas en el rumen. Posteriormente, las bolsas se retiraron del rumen una vez transcurrido el tiempo correspondiente. Las bolsas de las 0 h se sumergieron en el agua a 38 °C con el fin de cuantificar la MS soluble. Las bolsas retiradas del rumen se lavaron con agua corriente hasta quedar limpias, se secaron a temperatura ambiente de 26.0 °C por 24 h y después en una estufa de aire forzado a 55 °C por 24 h, posteriormente fueron pesadas para determinar DISMS, DISFDN Y DISFDA con el método de bolsa de filtro y la incubadora Daisy^{II} (ANKOM Technologies, Macedon, NY, USA; ANKOM, 2010).

5.2.4 Determinación de pH, AGV, N-NH₃ en el líquido ruminal y glucosa en sangre

Para determinar el pH, concentración de AGV y nitrógeno amoniacal (N-NH₃), en el primer día de muestreo de cada periodo experimental, se recolectarán 50 mL de líquido ruminal 4 h después de suministrar el alimento de la mañana. El líquido se filtró usando una capa doble

de gasa e inmediatamente se midió el pH con un potenciómetro portátil (ORION, modelo SA 210), y posteriormente se adicionaron 4 mL de líquido en un tubo de ensaye con 1 mL de ácido metafosfórico al 25 % (v/v), para lograr una concentración de 4:1 y se congelo para el análisis posterior de AGV y N-NH₃.

Para determinar la concentración de AGV, las muestras se descongelaron y una alícuota de 3 mL se centrifugo a 12,000 rpm durante 10 min; el sobrenadante se colocó en viales para cromatografía de 2 mL y se midió la concentración de AGV. Se inyectó 1 µL en un cromatografo de gases Perkin ElmerTM, modelo Claurus 500, con automuestreador y equipado con una columna capilar de Phase: Elite FFAP con dimensiones L 15, DI 0.32, DF 0.25 serial #: 219134, temperaturas de inyector de 240° C, t del detector de ionización de flama (FID) de 250° C y del horno de 80° C (1 min) con incrementos de 20° C min⁻¹ hasta alcanzar 140° C (3 min) y una velocidad de gases (H₂ y N₂) de 40 mL min⁻¹ y 400 mL min⁻¹ para el aire. Para determinar la concentración del N-NH₃, se usó la metodología descrita por McCollough (1967), una muestra del líquido ruminal descongelado de 2 mL se centrifugo a 3,000 rpm por 10 min, del sobrenadante se recolecto 20 µL y se depositaran en tubos de ensaye de 10 mL adicionando 1 mL de fenol y 1 mL de hipoclorito de sodio. Las muestras se incubaron en baño maría marca Felisa a 37° C por 30 min y se adicionaron 5 mL de agua destilada para diluir las muestras, se agitaron en un vortex (Genie 2, modelo G-560) y se realizó la lectura en un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible CARY 1-E VARIAN (Perkin Elmer, modelo lamda-40) a 630 nm.

La glucosa en plasma se determinó mediante la metodología glucosa oxidasa/peroxidasa (BioSystems, 2016). Iniciando las cuatro horas postprandial, se tomó una muestra de sangre de la vena yugular y se centrifugo inmediatamente a 4,000 rpm durante 10 minutos para la separación de plasma y suero. El suero en plasma se refrigero para su posterior análisis. Para determinar la concentración de glucosa, las muestras de plasma se descongelaron, se

depositaron 20 μL en tubos de ensaye y se agregó 2 ml del reactivo BioSystems. Las muestras se agitaron en Vortex (Genie 2, modelo G-560) y se incubaron en baño maría marca Felisa a 37° C por 5 min. Se realizó la lectura en un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible CARY 1-E VARIAN (Perkin Elmer, modelo lamda-40) a 630 nm.

5.2.5 Análisis estadístico

Los resultados glucosa en sangre, AGV, N-NH₃ y pH se analizaron mediante el procedimiento PROC GLM para un cuadro latino 3x3 replicado (SAS, 2002). Los datos de la degradación *in situ* de la materia seca (DISMS, DISFDN y DISFDA), se analizaron utilizando el procedimiento de modelos mixtos de SAS (PROC MIXED; SAS, 2002). La comparación de medias se realizó mediante Tukey ($\alpha= 0.05$) (Steel y Torrie, 1988).

5.3 RESULTADOS

A mayor nivel de PCa de calcio en la dieta (2%) incremento la concentración de glucosa en plasma ($P<0.05$) con respecto al tratamiento testigo (Cuadro 6). Las dietas con un mayor nivel de PCa condujeron a una menor concentración molar de acetato y mayor concentración molar de propionato en rumen ($P<0.05$). No hubo efecto en N-NH₃ y pH ruminal por la suplementación con PCa en las dietas (Cuadro 6). La cinética de digestión ruminal *in situ* de MS, FDN y FDA, no presentaron diferencias al incluir PCa en las dietas experimentales (Cuadro 7).

5.4 DISCUSIÓN

Se determinó un valor glucémico para la dieta sin PCa (70.3 mgdL^{-1}) dentro del rango óptimo recomendado para un bovino (50 a 70 mgdL^{-1} ; Lima *et al.*, 2012). La adición de 100 y 200 g kg^{-1} de PCa aumento a 75.1 y 80.1 mgdL^{-1} el valor glucémico, respectivamente. Este aumento, puede atribuirse a una gluconeogénesis más activa en respuesta a la suplementación

con propionato y al incrementó en la concentración de ácido propiónico en rumen. Los resultados son consistentes con Sano y Fujita (2006), Liu *et al.* (2010), Mulliniks *et al.* (2011), Nazari *et al.* (2012) y Radojicic *et al.* (2016) quienes encontraron incrementos en la concentración de glucosa en plasma en vacas en lactancia temprana, vacas jóvenes, ovejas adultas y terneros suplementados con PCa y otros precursores de glucosa.

Stokes y Goff (2001), no encontraron diferencias en glucosa en plasma al proporcionar 9.5 L de agua + 0.68 kg de PCa en vacas 4 y 24 h postparto, y al infundir 0.23 y 0.41 Mol d⁻¹, de PCa en corderos (Majdoub *et al.*, 2003). Estudios similares realizados por DeFrain *et al.* (2005), no reportan diferencias en glucosa en plasma al incluir tratamientos con 120 g d⁻¹ y 178 g d⁻¹ de PCa en vacas pre y postparto, así como, al evaluar vacas en diferentes momentos de lactancia (primero, segundo y tercer tercio), suplementadas con PCa (Alberton *et al.*, 2013). Zhang *et al.* (2013), complementaron la dieta de bovinos para carne con 200 g de PCa, en encontrando una disminución en glucosa en plasma de horas postprandial.

Cuadro 6. Efectos de la suplementación con propionato de calcio (PCa) sobre glucosa en plasma, pH y fermentación ruminal en novillos.

VARIABLE	TRATAMIENTO			
	0%	1%	2%	EEM
GLUCOSA (mg dL ⁻¹)	70.3 b	75.1 ab	80.1 a	2.18
AGV'S % (mMol)				
ACETICO	60.5 a	59.6 ab	57.5 b	0.58
PROPIONICO	23.9 b	25.3 ab	28.4 a	0.93
BUTIRICO	15.6	15.1	14.1	2.40
N-NH ₃ (mg dL ⁻¹)	9.9	9.3	9.0	0.79
pH	6.5	6.4	6.4	0.03

^{a,b} Medias con literales diferentes por hilera son diferentes (P<0.05).

Sin embargo, los resultados al suplementar precursores de glucosa no han sido constantes y factores como dosis, biodisponibilidad, tipo de dieta (ejemp. nivel de energía) raza y el estado fisiológico del animal pueden originar resultados inconsistentes en estudios que evalúan el efecto de la suplementación con PCa sobre las concentraciones de glucosa en plasma en rumiantes (Spears *et al.*, 2011). Huntington *et al.* (2006), refieren que una gluconeogénesis eficiente es importante para un suministro adecuado de glucosa en vacas lecheras e incrementar la producción de leche (Alberton *et al.*, 2011), condiciones similares ocurren en novillos en finalización, el suministro de glucosa mantiene un balance de energía adecuado que puede influenciar un mejor desempeño productivo.

Cuadro 7. Cinética de digestión ruminal *in situ* de la materia seca (DISMS), fibra detergente neutro (DISFDN) y fibra detergente acida (DISFDA) de las dietas experimentales.

Horarios de incubación (h)	Tratamientos								
	DISMS			DISFDN			DISFDA		
	0%	1%	2%	0%	1%	2%	0%	1%	2%
0	24.7	21.7	26.3	6.0	4	3.5	20.7	23.5	23.3
4	27.3	27.2	28.5	8.8	4.7	13.5	19.5	20.5	21.8
8	32.2	32.3	35.0	10.7	15.5	20	21.2	22.2	18.5
12	38.2	35.5	38.5	17.5	18.8	21.8	19.0	17.3	21.7
16	40.3	41.0	41.2	20.0	15.3	22.2	21.5	20.5	19.5
24	50.7	50.7	51.2	38.8	32.5	41.3	28.8	27.3	27.7
48	60.7	61.3	59.2	56.3	50	57.5	36.8	32.8	31.2
72	69.8	68.2	68.3	71.2	73.2	77	44.8	44.2	45.3
EEM	2.8	2.8	2.8	3.2	3.2	3.2	4.6	4.6	4.6

La variación en la concentración de propionato (23.9 a 28.4 mMol) y acetato (60.5 a 57.5 mMol) en rumen (Cuadro 6), concuerda con los resultados obtenidos por Liu *et al.* (2009), quienes reportaron una reducción lineal y cuadrática en la relación acetato: propionato al suplementar 0, 100, 200 y 300g de PCa en una dieta 60: 40 forraje: concentrado, la concentración molar de propionato en rumen fue 13, 14, 15 y 16 mMol, respectivamente. Lee-Rangel *et al.* (2012) observo resultados similares en ovinos en finalización que consumieron 650 kg⁻¹ (450 g maíz y 200 g sorgo) de grano más 10 g kg⁻¹ de PCa, aumentando la proporción de ácido propiónico de 36.2 a 44.1 mMol en comparación con una dieta 650 kg⁻¹ de grano + 0 g PCa (P< 0.05). Sin embargo, Mendoza- Martínez *et al.* (2015) no encontraron diferencias en la producción de AGV al incluir dos niveles de PCa (10 y 20 g kg⁻¹) en la alimentación de ovinos en finalización. Estudios consideran que el incremento en la concentración ruminal de propionato es resultado de la suplementación exógena con PCa y no por una modificación en la fermentación ruminal que favorezca la producción de propionato (Liu *et al.*, 2009). En consecuencia, el aumento de la concentración de propionato ruminal se relaciona con el hecho de que la mayoría del PCa consumido se convierte en propionato al ser fermentado en rumen, lo que sugiere que la absorción ruminal de propionato fue más rápida que la de los granos (maíz y soya) incluidos en la dieta basal.

En el presente estudio no se observaron cambios en las concentraciones de N-NH₃ y pH (P<0.05). Lee-Rangel *et al.* (2012), no encontraron cambios en el pH al incluir PCa en la alimentación de ovinos. Mendoza-Martínez *et al.* (2015), reportaron cambios en la concentración ruminal de N-NH₃, sin cambios en pH al suministrar PCa en la dieta. El pH determina no solo la biodiversidad del ecosistema ruminal y el valor de los productos finales, sino también la salud de los animales (Aschenbach *et al.*, 2011). Disparidad de resultados se observaron al incluir precursores de glucosa en la concentración ruminal de N-NH₃ y pH (Liu *et al.*, 2009). En el presente estudio la adición de PCa adicionado, por lo tanto, no hay un

efecto negativo no modifico el pH ruminal. Van Cleef *et al.* (2016), señalan que valores entre 15 a 20.5 de N-NH₃ mg dL⁻¹ de líquido ruminal se consideran adecuados para la actividad fermentativa en rumen; al respecto, Leng (1990) menciona que valores mayores de 10 y 20 mg dL⁻¹ de N-NH₃ son necesarios para maximizar la digestión ruminal y el consumo de MS en rumiantes

Los sistemas de evaluación actuales se centran en los aspectos dinámicos de la degradación ruminal de los componentes de la dieta (NRC, 2001). En el presente estudio la cinética de digestión ruminal *in situ* de MS, FDN y FDA, no presento diferencias al incluir PCa (Tabla 3). Liu *et al.* (2009), determinaron que la suplementación con PCa mejora lineal la digestibilidad de la FDN, sin afectar la fracción soluble de MS, especulando que la administración de PCa estimula los microorganismos ruminales que participan en la digestión de la MS y FDN.

El comportamiento similar en la digestibilidad entre tratamientos en el presente estudio pudo ser efecto de una similitud en la composición en la dieta (60:40, forraje: concentrado; Tabla 1), dado que solo vario la inclusión de maíz molido en 27, 26 y 25% en respuesta a la inclusión de PCa (0, 1 y 2%, respectivamente). En los rumiantes, la variación en la digestibilidad de la MS es debido principalmente a diferencias en cantidad de carbohidratos que componen la pared celular (FDN) (Trujillo *et al.*, 2010).

5.5 CONCLUSIÓN

La adición con PCa en 1% no tuvo un efecto importante en las variables evaluadas. La dosis de 2% de PCa (200 g animal⁻¹ día⁻¹) modifico la relación acetato-propionato e incrementó la concentración de glucosa en plasma, en comparación con la dieta testigo (0% PCa). Sin embargo, no se observaron efectos en pH, N-NH₃ y la cinética de digestión del alimento (DISMS, DISFDN, DISFDA). El análisis de resultados subraya la complejidad de la respuesta

a la suplementación con PCa y proporciona una base para el diseño de estrategias para el desarrollo de aditivos alimentarios que garanticen una mejora en la producción animal.

LITERATURA CITADA

Aguilar-González M, Buitrón G, Shimada-Miyasaka A, Mora-Izaguirre Ofelia. 2016. State of the art of bioelectrochemical systems: feasibility for enhancing rumen propionate production. *Agrociencia*. 50(2): 149-166.

Alberton LR, Fanin M, Oro M, Savanhago R, Del Conte Martins W. 2011. Efeitos da suplementacao de vacas com propionato de cálcio na dieta sobre a glicemia, producao e composicao do Leite. *Enciclopedia Biosfera*. 9(17): 1202-1212.

ANKOM. 2016. ANKOM Technology Instrument Manuals. <http://www.ankom.com/instrument-manuals.espx>. Consultado el 10 de abril del 2016.

AOAC. 1999. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, V.A., USA. 75 p.

Aschenbach JR, Kristensen NB, Donkin SS, Hammon HM, Penner GB. 2010. Gluconeogenesis in dairy cows: The secret of making sweet milk from sour dough. *IUBMB Life* 62:869–877.

Aschenbach JR, Penner GB, Stumpff F, Gabel G. 2011. Role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH. *Journal Animal Science*. 89:1092-1107.

DeFrain JM, Hippen AR, Kalscheur KF, Patton RS. 2005. Effects of Feeding Propionate and Calcium Salts of Long-Chain Fatty Acids on Transition Dairy Cow Performance. *Journal Dairy Science* 88(3): 983-993.

Huntington GB, Harmon DL and Richards CJ. 2006. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *Journal Animal Science*. 84(E. Suppl.): E14–E24.

Ladeira MM, Carvalho JRR, Chizzotti ML, Teixeira, Dias JOC, Gionbelli TRS, Rodriguesa

- AC, Oliveira DM. Effect of increasing levels of glycerin on growth rate, carcass traits and liver gluconeogenesis in young bulls. *Animal Feed Science and Technology*. 219: 241-248.
- Larsen M**, Kristensen NB. 2009. Effect of abomasal glucose infusion on splanchnic amino acid metabolism in periparturient dairy cows. *Journal Dairy Science*. 92: 3306-3318.
- Lee-Rangel HA**, Mendoza GD, Gonzalez SS. 2012. Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Animal Feed Science and Technology*; 177(3-4): 237-241.
- Leng RA**.1990. Factors affecting the utilization of “poor-quality” forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutr. Res. Rev.* 3:277-303.
- Lima PO**, Moura AAA, Queiroz MGR, Lima RN, Duarte LS, Miranda MVFG. 2012. Concentrações séricas de glicose e ureia em bezerras alimentada com sucedâneo lácteo e probiótico. *Acta Veterinaria Brasilica*, 6(2): 141-146.
- Liu Q**, Wang C, Huang YX, Dong KH, Yang WZ, Wang H. 2008. Effects of lanthanum on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and digestibility in steers. *Animal Feed Science and Technology*. 142: 121-132.
- Liu Q**, Wang C, Guo G, Yang WZ, Dong KH, Huang YX, Yang XM, He DC. 2009. Effects of calcium propionate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Journal Agricultural Science*. 147(2): 201-209.
- Liu Q**, Wang C, Yang WZ, Guo G, Yang XM, He DC, Dong KH, Huang YX. 2010. Effects of calcium propionate supplementation on lactation performance, energy balance and blood metabolites in early lactation dairy cows. *Animal Physiology and animal Nutrition*. 94: 605-614.
- Majdoub L**, Beylot M, Vermorel M, Isabelle Ortigues-Marty I. 2003. Propionate supplementation did not increase whole body glucose turnover in growing lambs fed rye

grass. *Reprod. Nutr. Dev.* 43: 357-370.

- Mendoza-Martínez** GD, Pinos-Rodríguez JM, Lee-Rangel HA, Hernández-García PA, Rojo-Rubio R and Relling A. 2015. Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*. 56(7): 1194-1198.
- Mulliniks** JT, Kemp ME, Cox SH, Hawkins DE, CIBILS, A.F. Vanleewen DM, Petersen MK. 2011. The effect of increasing amount of glucogenic precursors on reproductive performance in young postpartum range cows. *Journal of Animal Science*. 89: 2932-2943.
- McCullough** H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clin.Chem.*, 17: 297-304.
- Nazari** M, Karkoodi K, Alizadeh A. 2012. Performance and physiological response of milk-fed calves to coated calcium butyrate supplementation. *S Afr J Anim Sci*. 42: 296-303.
- NRC**. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Oh** YK, Eun JS, Lee SC, Chu GM, Lee SS, Moon YH. 2015. Responses of Blood Glucose, Insulin, Glucagon, and Fatty Acids to Intraruminal Infusion of Propionate in Hanwoo. *Asian Australasian Journal Animal Science*. 28(2): 200-206.
- Radojicic** B, Joksimović-Todorović M, Bukvić M, Simeunović P, Kakishev M, Pračić N. 2016. The influence of sodium propionate on blood glucose, insulin and cortisol concentrations in calves of different ages. *Acta Veterinaria Brno* 85(2): 127-132.
- Rigout** S, Hurtaud C, Lemosquet S, Bach A, Rulquin H. 2003. Lactational effect of propionic acid and duodenal glucose in cows. *Journal Dairy Science*. 86(1): 243-253.
- Sano** H, Fujita T. 2006. Effect of supplemental calcium propionate on insulin action to blood glucose metabolism in adult sheep. *Reproduction Nutrition Development*, EDP

- Sciences. 46 (1): 9-18.
- SAS.** 2002. SAS User's Guide. Statistics (Release 8.02). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Sheperd AC, Combs DK.** 1998. Long-term effects of acetate and propionate on voluntary feed intake by midlactation cows. *Journal of Dairy Science.* 81: 2240-2250.
- Spears JW, Whisnant CS, Huntington GB, Lloyd KE, Fry RS, Krafka K, Lamptey A, Hyda J.** 2011. Chromium propionate enhances insulin sensitivity in growing cattle. *J. Dairy Sci.* 95:2037–2045.
- Steel RG, Torrie JH.** 1988. *Bioestadística. Principios y Procedimientos.* 2ª edición, Mc Graw Hill, México.
- Stokes SR, Goff JP.** 2001. Evaluation of Calcium Propionate and Propylene Glycol Administered into the Esophagus of Dairy Cattle at Calving. *The Professional Animal Scientist.* 17(2): 115-122.
- Trujillo AI, Marichal MJ, Carriquiry M.** 2010. Comparison of dry matter and neutral detergent fibre degradation of fibrous feedstuffs as determined with in situ and in vitro gravimetric procedures. *Animal Feed Science and Technology.* 161: 49-57.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA.** 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and nonstarch carbohydrates in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science.* 74, 3583–3597.
- Waterman RC, Sawyer JE, Mathis CP, Hawkins DE, Donart GB, Petersen MK.** 2006. Effects of supplements that contain increasing amounts of metabolizable protein with or without Ca-propionate salt on postpartum interval and nutrient partitioning in young beef cows. *Journal of Animal Science.* 84: 433-446.
- Yan Y, Chenbo L, Yelin Z, Tian W.** 2011. Application of calcium propionate in animal production. *Feed Industry.* 16: 1005-1016.
- Zhang XZ, Lin L, Qing-Xiang M, Li-Wen H, Li-Ping R.** 2013. Effects of supplemental

propionate calcium on growth and blood indexes of the high concentrate finishing beef cattle. *Journal of China Agricultural University*. 18(3): 115-119.

Zhang XZ, Qing-Xiang M, Lin L, Cui ZL and Li-Ping R. 2015. The effect of calcium propionate supplementation on performance, meat quality, and mRNA expression of finishing steers fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 24(2): 100-106.