



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GANADERÍA**

## **UTILIZACIÓN DE PROPIONATO DE CALCIO EN BORREGOS**

**HÉCTOR AARÓN LEE RANGEL**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2011**

La presente tesis titulada: **Utilización de propionato de calcio en borregos**, realizada por el alumno: **Héctor Aarón Lee Rangel**, 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. Sergio Segundo González Muñoz

DIRECTOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. German David Mendoza Martínez


ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Manuel Pinos Rodríguez

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Alberto Miranda Romero

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alfonso Hernández Garay

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2011.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados, por el apoyo económico y la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado.

A la línea prioritaria de investigación No. 11 “Sistemas de producción agrícola, pecuaria, forestal, acuícola y pesquera” por el apoyo económico para realizar esta investigación, otorgado a través del Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión No. 167304 de 2009.

Al Técnico Andrés Lee, por su ayuda y constante apoyo a lo largo de este y otros experimentos, con su experiencia enriquece cada uno de ellos.

A todos los doctores que me guiaron y compartieron sus conocimientos y experiencias, muchos de ellos brindándome su amistad y respeto, en especial al Dr. Germán D. Mendoza Martínez y al Dr. Sergio S. González Muñoz, son los pilares de mi formación, de los cuales seguiré siendo su colaborador y admirador en lo personal y profesional.

A mis amigos.

## DEDICATORIA

A mis padres, quienes son lo más importante para mi y me han apoyado incondicionalmente, con admiración y respeto dedico este logro, a ellos les debo lo que soy.

A mis hermanas Karla, Carmen y Andrea, por apoyarme y quererme.

A mis sobrinos Ximena y Enrique.

A toda mi familia que siempre está al pendiente.

La mejor parte de la vida, es compartir con los que te rodean, y dar sin esperar recibir nada a cambio, el destino solo se encargara de decidir en su momento si alguien compartirá sus vivencias contigo. Dar es el mejor regalo que puedo recibir. Gracias Anayeli.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1. Contexto mundial de los granos.....	6
2.1.1. Industria pecuaria.....	6
2.1.2. Industria energética.....	7
2.1.3. Granos en la industria energética.....	10
2.1.4. Demanda mundial de granos.....	11
2.2. Contexto nacional.....	11
2.3. Granos de cereales.....	13
2.3.1. Estructura y composición.....	13
2.3.2. Almidón.....	13
2.3.4. Hinchamiento y gelatinización.....	15
2.3.5. Importancia del procesamiento de los granos.....	16
2.3.6. Digestión del almidón en el rumen.....	17
2.3.7. Factores que afectan la digestión del almidón en rumiantes.....	19
2.3.8. Fermentación ruminal del almidón.....	19
2.4. Precursores de glucosa.....	21
2.4.1. Propionato en nutrición de rumiantes.....	22
LITERATURA CITADA.....	24
CAPÍTULO III. EFECTO DEL PROPIONATO DE CALCIO Y EL NIVEL DE GRANO (SORGO + MAÍZ) EN VARIABLES RUMINALES, EN LA GLUCOSA PLASMÁTICA Y LA RESPUESTA PRODUCTIVA DE BORREGOS EN FINALIZACIÓN.....	34
3.1. INTRODUCCIÓN.....	34
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35

3.2.1. Animales y dietas.....	35
3.2.2. Ensayo de crecimiento .....	37
3.2.3. Fermentación ruminal.....	37
3.2.4. Glucosa sanguínea.....	37
3.3. Análisis estadístico .....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1. Ensayo de crecimiento .....	39
4.1.1. Consumo diario de alimento .....	39
4.1.2. Ganancia diaria de peso .....	40
4.1.3. Conversión alimenticia. ....	41
4.1.3. Rendimiento en canal y área de chuleta .....	41
4.2. Fermentación ruminal.....	42
4.3. Glucosa sanguínea.....	43
CONCLUSIONES.....	44
LITERATURA CITADA.....	45

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Políticas de apoyo a la producción y consumo de biocombustibles en países consumidores.....	9
Cuadro 2. Producción de glucosa en el hígado y contribución máxima teórica de propionato, L-lactato y aminoácidos.....	21
Cuadro 3. Dietas experimentales y composición química .....	36
Cuadro 4. Variables productivas de borregos Criollo alimentados con dietas con dos niveles de grano (sorgo + maíz) y dos de propionato de calcio. ....	39
Cuadro 5. Patrón de fermentación ruminal y glucosa sanguínea de borregos Criollo alimentados con dietas con dos niveles de grano (sorgo + maíz) y con dos de propionato de calcio.....	43

# UTILIZACIÓN DE PROPIONATO DE CALCIO EN BORREGOS

Héctor Aarón Lee Rangel, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2011.

## RESUMEN

Dado que el costo de los granos aumenta en el mundo es necesario utilizar ingredientes energéticos no convencionales (gluconeogénicos) como propilen glicol, glicerol y propionato de calcio en dietas para rumiantes. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de propionato de calcio (0 y 1 %) y de dos niveles de grano (45 % sorgo + 20 % maíz; 35 % sorgo + 20 % maíz) en dietas para borregos en finalización, en variables productivas, de fermentación ruminal y la glucosa plasmática. El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial (2 x 2) de tratamientos (dietas; 55 y 65 % de grano; 0 y 1% propionato de calcio). Así, hubo cuatro dietas (tratamientos) que se proporcionaron a 32 borregos Criollo machos (PV  $28.14 \pm 2.34$  kg) alojados en jaulas individuales durante 42 d. Con los datos se realizó un ANDEVA usando el procedimiento MIXED para mediciones repetidas en el tiempo (GDP, consumo, conversión alimenticia y glucosa) y el procedimiento GLM para las otras variables. Las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). En el rumen, el pH y la concentración de acetato no cambiaron ( $p > 0.05$ ), mientras que la concentración de propionato aumentó en borregos ( $p = 0.03$ ) que recibieron dietas con 55 o 65 % de grano más propionato de calcio. Los tratamientos no afectaron ( $p > 0.05$ ) la glucosa plasmática. El consumo, GDP, conversión alimenticia y el área de chuleta no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), pero el rendimiento en canal tendió ( $p = 0.06$ ) a aumentar en borregos alimentados con 65 % de grano sin propionato o con 55 % de grano más propionato. El análisis de los resultados de este estudio indica que la adición de propionato de calcio puede sustituir parcialmente la energía aportada por el grano (sorgo + maíz) en dietas para borregos en finalización.

**Palabras clave:** ingredientes energéticos, gluconeogénicos, costo, granos.

## UTILIZATION OF CALCIUM PROPIONATE IN LAMBS

Héctor Aarón Lee Rangel, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2011.

### ABSTRACT

The aim of this trial (42 d) was to evaluate the effect of calcium propionate and grain (50:50 corn and sorghum) level on performance, ruminal variables and plasma glucose concentration in 32 finishing criollo lambs ( $28.14 \pm 2.34$  kg initial BW). The experimental design was completely randomized with a factorial arrangement of treatments 2X2 (55 and 65% grain; 0 and 1 calcium propionate). Data collected over time were analyzed using MIXED procedure (SAS) and treatment means were compared with Tukey test ( $P < 0.05$ ) between treatments for DMI, ADG and feed conversion. Rib eye area was increased by grain ( $P < 0.05$ ) and trend ( $P < 0.06$ ) was observed in carcass yield in lambs feed 65 or 55% grain plus 0 or 1% calcium propionate (52.79 vs 50.62%; 50.06 vs 52.48%). Ruminal pH was decreased ( $P < 0.03$ ) by Ca Propionate. Diets with 65% grain decreased blood glucose ( $P < 0.05$ ) and ruminal acetate concentration ( $P < 0.005$ ). There was a significant interaction for propionate and butyrate ( $P < 0.03$ ) and total VFA ( $P < 0.05$ ). Therefore, it may be concluded that Ca propionate could partially replace the energy from the grain on diets for criollo finish lambs.

Key words: grains, lambs, plasma glucose



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La rápida evolución de los sistemas de producción de rumiantes impulsada por cambios socio-económicos y de mercado causa variaciones en las bases productivas tradicionales. Un aspecto limitante en la rentabilidad de los sistemas es el costo de la alimentación y, en particular, el suministro de energía aportado principalmente mediante la inclusión de granos en dietas para rumiantes.

El constituyente principal de los cereales es el almidón y su tasa de degradación en el rumen depende del tipo de grano, variedad, procesamiento, pH ruminal y características de la dieta (Orskov, 1986; Theurer, 1986). Por ejemplo, en diversas variedades de sorgo la digestibilidad varía de 50 a 80 % (McGinty y Riggs, 1968; Miller *et al.*, 1972; Noziere *et al.*, 1997), lo cual se debe a que la cantidad de energía disponible depende de la degradabilidad del almidón (Briton y Stock, 1986). Además, el uso de los granos incrementa la densidad energética de la dieta, lo cual optimizará la producción en un sistema bien manejado de acuerdo con la cantidad de almidón convertido a producto animal (Huntington, 1997). Los cereales contienen de 57 a 77 % de materia seca (MS) de almidón como precursor de glucosa para los rumiantes (Huntington, 2006).

Debido a un aumento reciente y constante del costo de los granos, el uso de otros energéticos no convencionales como glicerol, propilen glicol (Ferraro *et al.*, 2009) o propionato de calcio puede ser una alternativa para sustituirlos. Biológicamente, los precursores de glucosa como propilen glicol o propionato de calcio se usan en ganado lechero para corregir problemas metabólicos; sin embargo, dado que el propilen glicol

se puede metabolizar a compuestos sulfurosos (Traube *et al.*, 2007) sólo debiera incorporarse el propionato de calcio como ingrediente en dietas.

El propionato de calcio es el más importante sustrato para la gluconeogénesis en rumiantes. Seal y Reynolds (1993) indican que el propionato provee 32 a 73 % de las demandas de glucosa; sin embargo, se ha encontrado que deprime el consumo diario de alimento limitando el aporte de propionato ruminal al hígado (Drackley *et al.*, 2001).

Aunque el efecto hipofágico del propionato se ha documentado (Anil y Forbes, 1980; Anil y Forbes, 1988; Choi y Allen, 1999; Oba y Allen, 2003), en algunos experimentos la infusión de propionato no disminuyó el consumo de alimento (Deetz y Wangsness, 1981; Quigley y Heitmann, 1991; DeJong *et al.*, 1981; Anil *et al.*, 1993 y DeFrain *et al.*, 2005). Los efectos inconsistentes de la hipofagia se pueden explicar por el umbral de respuesta del propionato en la regulación del consumo. En ganado lechero (Deetz y Wangsness, 1981; Quigley y Heitmann, 1991; DeJong *et al.*, 1981; Anil *et al.*, 1993; Oba y Allen, 2003; DeFrain *et al.*, 2005) y borregos (Quigley y Heitmann, 1991; Farningham y Whyte, 1993) el consumo de alimento disminuye linealmente respecto al incremento de la tasa de infusión del propionato, aunque el umbral de respuesta no se observó en esos estudios. Leuvenink *et al.* (1997) alimentaron borregos con pasto en gránulos (pellets) y reportan que la infusión de propionato en la vena mesentérica (2 mmol min<sup>-1</sup>) disminuye el consumo, pero la infusión de 1 mmol min<sup>-1</sup> no tuvo efecto.

El objetivo general del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de propionato de calcio y nivel de sorgo en dietas para borregos en el consumo de alimento, la fermentación *in vitro* y ruminal *in vivo*, así como en las características productivas de borregos Criollo en engorda. Con ello se busca ampliar el conocimiento

de los efectos biológicos del propionato de calcio como ingrediente en dietas para ovinos.

## **CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Contexto mundial de los granos**

#### **2.1.1. Industria pecuaria**

En países desarrollados la alimentación de especies pecuarias está basada en gran medida en los granos pero hay variación entre los sistemas de producción. Así, para rumiantes se usa más forrajes y hay mayor flexibilidad debido a una amplia variación en la proporción de granos y forrajes empleados en las dietas, mientras que los sistemas avícolas y porcícolas intensivos muestran una alta similitud. La demanda de granos para la alimentación de especies pecuarias tiene una alta correlación con la producción de dichas especies, y por tanto con la demanda de carnes, huevo, lácteos y otros productos (FIRA, 2008). Según Urquidi (2005), la demanda de productos pecuarios depende de la dinámica de la población y el consumo per cápita. Así, la población mundial ha crecido a una tasa de 1.4 % anual desde 1990, mientras que el consumo de productos pecuarios ha aumentado más rápidamente (3.8 %).

La producción pecuaria mundial muestra un crecimiento dos a tres veces mayor que el de la población humana y su principal impulso es el aumento de la población de los países en desarrollo, algunos de los cuales muestran un incremento reciente en su ingreso per cápita. En los próximos años esa tendencia puede tener resultados distintos debido al reciente y abrupto incremento de los precios de los productos pecuarios. En el mundo se producen anualmente 2,221 millones t, de las cuales 913 millones corresponden a la alimentación de especies pecuarias (FIRA 2008).

En la ganadería se debe usar alimentos con nutrientes en las cantidades requeridas para un óptimo desempeño económico, pero los cereales no contienen el balance de nutrientes necesario por lo que se mezclan con otros ingredientes para lograr fórmulas

adecuadas. La industria mundial de alimentos para especies pecuarias produjo 626 millones t en el 2006 y su mayor componente corresponde a cereales, pero se incluyen también subproductos agroindustriales, otros nutrientes y aditivos. El 70 % de esa producción proviene de los Estados Unidos, la Unión Europea, China y Brasil, con 145, 142, 96 y 48 millones t. En la lista sigue México con 25 millones t, producción mayor que la de cualquier país de la Unión Europea, por lo cual sería el cuarto país productor (International Feed Industry Federation, 2006).

### **2.1.2 Industria energética**

La Agencia Internacional de Energía (AIE) en el World Energy Outlook 2009 presenta una proyección de la demanda de energía del 2007 hasta el 2030. Para ese período el consumo de energía pasó de 12,000 a 16,800 millones t de petróleo crudo equivalente, es decir, un incremento del 40 % total. Sin embargo, esta demanda disminuyó ligeramente entre 2007 y 2010, principalmente debido a la caída de 2 % en el 2009.

Las fuentes principales para satisfacer la demanda de energía para el año 2007 fueron petróleo (38 %), carbón (32 %) y gas (20.9 %), que en conjunto cubrieron 91 % del consumo, lo cual refleja una disminución en el consumo de esta energía (World Energy Outlook, 2009).

La energía proveniente de otras fuentes renovables (biocombustibles) presenta un mayor dinamismo con una Tasa Media Anual de Crecimiento (TMAC) de 6.6 %, seguida de la energía hidráulica y gas (TMAC 2.0 %), carbón (TMAC 1.8 %), mientras que el dinamismo es menor para petróleo, biomasa y desperdicios orgánicos (TMAC 1.3 %) y la energía nuclear (TMAC 0.7 %). La pérdida en la participación relativa del petróleo se debe a: 1) la expectativa de las reservas mundiales probadas de petróleo está calculada en 40-67 años, y para México es 11 años; 2) los conflictos geopolíticos;

3) las presiones ecologistas por el uso de combustibles más amigables con el ambiente (World Energy Outlook, 2006).

El incremento en el precio del petróleo es una tendencia y no un evento coyuntural, por lo cual es estratégico cambiar a biocombustibles que básicamente son etanol o ésteres. El etanol se obtiene principalmente de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y del maíz (*Zea mays*), mientras que los ésteres o biodiesel se obtienen de oleaginosas como colza (*Brassica napus*), soya (*Glicine max L.*) o girasol (*Helianthus annuus*). Actualmente el etanol representa 85 % de los biocombustibles y el biodiesel 15 % (World Energy Outlook, 2006).

Con el fin de respaldar la tendencia en la sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles, algunos países han implementado políticas de apoyo a su producción y consumo (Cuadro 1). La AIE (2006) calcula que la producción de biocombustibles crecerá 9 % anualmente entre 2004 y 2030, y cubrirá 7 % de la demanda de combustibles para transporte en el mundo.

Cuadro 1. Políticas de apoyo a la producción y consumo de biocombustibles en países consumidores

País	Objetivo	Incentivos a la producción	Incentivos al consumo
Brasil	40 % de incremento en la producción de etanol entre 2005 y 2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos sobre impuestos.</li> <li>• Créditos</li> <li>• Reducción de impuestos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exención de impuestos en vehículos que usen etanol.</li> <li>• Control de precios.</li> </ul>
EE.UU.	2.8 % del consumo de etanol para 2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créditos sobre impuestos</li> <li>• Pagos directos a productores</li> <li>• Programas de apoyo y crédito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créditos sobre impuestos en vehículos que usen etanol</li> <li>• Exención de impuestos</li> <li>• Subsidios a vehículos Flexibles</li> </ul>
Canadá	3.5 % del consumo de combustibles para 2010 con etanol	Exención de impuestos en carreteras	Exención de impuestos al combustible
Francia	5.7 % en 2008, 7 % en 2010 y 10 % en 2016 de biocombustibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créditos sobre impuestos</li> <li>• Acceso a una política agrícola común</li> <li>• Apoyo a inversión</li> </ul>	Exención de impuestos al Combustible
Alemania	2 % en biocombustibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceso a una política agrícola c</li> <li>• Apoyo a inversión</li> </ul>	Exención de impuestos al Combustible
India	5 % en un futuro cercano (10 años)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subsidios para insumos</li> <li>• Créditos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exención de impuestos en vehículos que usen etanol.</li> <li>• Precio de garantía</li> </ul>
China	15 % para 2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 200 millones de dólares para investigación y desarrollo</li> <li>• Asistencia crediticia</li> <li>• Exención de impuestos</li> </ul>	

Elaborado con información de la Agencia Internacional de Energía (2006).

### **2.1.3. Granos en la industria energética**

Por décadas, el mercado global agrícola se había caracterizado por el aumento creciente en los niveles de producción y productividad, una débil demanda y una baja significativa en los precios agrícolas y de alimentos. Desde 1973 al 2000 los precios de los alimentos cayeron 60 % y los precios agrícolas 55 % (Schmidhuber, 2006).

El reciente aumento en los precios de los alimentos no puede ser explicado únicamente por el crecimiento en la producción de biocombustibles. Sin embargo, la relación del aumento en la demanda y producción de este energético y el aumento en los precios de los productos agrícolas se observa justo en los productos que se utilizan para la producción de estas energías alternativas (González, 2008).

La fuerte demanda de productos agrícolas para la producción de biocombustibles se observa respecto principalmente al azúcar, el maíz, la yuca (*Manihot esculenta*), colza y el aceite de palma. Esta fuerte demanda se debe en una gran medida al aumento de los precios de los alimentos dentro del mercado mundial (FAO, 2008). Cabe señalar que de los principales productos alimenticios y forrajeros, el maíz y la colza han experimentado el mayor impacto potencial sobre los precios (González, 2008).

El efecto que puede tener el desvío de granos, como el maíz, para la producción de biocombustibles en lugar de su destino para la producción de alimentos pecuarios, debe contemplar también la cantidad de superficie apta para cierto cultivo que deja de sembrarse para producir materias primas que se dirigen a la producción de biocombustibles. Un caso así se ha presentado en los Estados Unidos donde el alza en los precios del maíz desde el 2006 al 2007 causó un aumento de 18 % en las plantaciones de este cultivo. Este incremento se debió a la reducción de la superficie destinada a soya (*Glicine max L.*) y trigo (*Triticum aestivum*) (FAO, 2008).



#### **2.1.4. Demanda mundial de granos**

El consumo mundial de maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*) y sorgo (*Sorghum vulgare*) fue 1,306 millones t (promedio 2000-2007) y tuvo un crecimiento continuo de 1.7 % durante el período de 2000 a 2007. El mayor dinamismo lo mostró el consumo para uso humano, industrial y de semillas con un crecimiento de 2.1 % y un consumo promedio de 725 millones t. Cabe mencionar que dentro del consumo humano se incluye el maíz usado para industrias (etanol entre otros) y semilla (FIRA, 2008).

Además, la cantidad de granos usados para la alimentación de especies pecuarias fue 580 millones de t (promedio 2000-2007) con un crecimiento de 1.1 % (FIRA, 2008). Del consumo de estos granos, el maíz presenta un mayor crecimiento (2.1 %) y es el principal impulso del consumo (2000-2007); en segundo lugar está el trigo con 0.2 % y finalmente el sorgo que muestra una disminución de -0.4 % (FIRA, 2008).

#### **2.2. Contexto nacional**

La tendencia en la fabricación de alimentos para ganado es creciente y México es el cuarto productor de alimentos pecuarios. En el país, el mayor consumidor de alimentos pecuarios es el sector avícola con una demanda un poco mayor a 50 %, seguido de los bovinos productores de leche, la porcicultura y los bovinos productores de carne (CONAFAB, 2006). El consumo de granos por la industria pecuaria es el principal impulso del incremento de la demanda en México, donde el maíz presenta el mayor consumo (60 % del total), seguido del sorgo (38 %) y el trigo (2 %), según SAGARPA (2007).

En México, el maíz es el grano más importante para la industria de la alimentación humana; el principal consumo en humanos es a través de tortillas y en años recientes

esta industria se ha mantenido prácticamente estable con un modesto crecimiento (FIRA, 2008).

El incremento en la oferta de granos está soportado básicamente por la producción nacional de maíz que ha crecido de 19 millones t en el 2005 a casi 22 millones t en el 2006 y para el 2007 se calculó una cosecha cercana a 24 millones t, mientras que la producción de sorgo y trigo permaneció relativamente estables (SAGARPA, 2007).

México no es autosuficiente en la producción de maíz, sorgo y trigo, por lo cual requiere importar estos granos lo cual se torna crítico cuando se reduce la disponibilidad o aumenta el precio de estos granos, situación que se agrava al considerar el comportamiento estacional de la producción. La demanda y el consumo de estos granos 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 constante. En México, la producción agrícola nacional tiene dos ciclos de cultivo claramente definidos por las condiciones agroclimáticas, las cuales no se ajustan a las demandas de la industria pecuaria y alimentaria, lo que provoca la presencia de picos de producción con una oferta que excede la demanda por algunos espacios temporales en el año, y grandes vacíos con disponibilidad de granos menor a la demanda (FIRA 2008).

El balance entre la disponibilidad de maíz blanco para la industria y el consumo, muestra apenas un excedente que resulta insuficiente para un inventarios óptimo, por lo cual la industria de la alimentación humana que utiliza maíz blanco es altamente vulnerable ante la demanda de maíz por la industria pecuaria. En el caso de maíz amarillo, destinado en su mayor parte a la industria pecuaria y en menos proporción a

la industria alimentaria, existe un déficit cercano a las 9 millones t que se cubre mediante importaciones. Para el trigo la situación es similar a la del maíz; porque hay un déficit de trigos suaves o harineros y un excedente de trigos duros; estos últimos participan eventualmente en la alimentación pecuaria. El déficit calculado de trigo harinero es cercano a 4 millones t que se cubre con importaciones, mientras que en trigos cristalinos el superávit es cercano a 500 mil t que se destinan a la ganadería o a la exportación. México tampoco es autosuficiente en sorgo y hay un déficit aproximado de 2.5 millones t, que se cubren con importaciones (FIRA, 2008).

## **2.3. Granos de cereales**

### **2.3.1. Estructura y composición**

En los granos de cereales hay tres tipos básicos de carbohidratos: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los monosacáridos o azúcares sencillos están constituidos por una unidad aislada de polihidroxi-aldehído o cetona, y el más abundante de ellos es la glucosa, azúcar de seis átomos de carbono, que constituye la molécula energética más importante para los animales y una de sus funciones básicas es la síntesis del almidón y la celulosa (Van Soest, 1994).

### **2.3.2. Almidón**

El almidón es el polisacárido de almacenaje de las plantas y la principal fuente de alimento para los animales. El almidón representa 60 a 80 % de la mayoría de los granos de cereales (Huntington 1997; Herrera-Saldaña *et al.*, 1990; Owens, 1998), de un gran porcentaje de muchas raíces y tubérculos, y es el principal componente de muchos granos de leguminosas. 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).

### **2.3.3. Propiedades físicas y químicas del almidón**

El almidón es un polisacárido heterogéneo compuesto por dos tipos de moléculas o polímeros: amilosa y amilopectina (Kotarski *et al.*, 1992; Van Soest, 1994). La amilosa es un polímero lineal de unidades de D-glucosa unidas por enlaces tipo  $\alpha$  (1-4). 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  $\alpha$  (1-4), con ramificaciones  $\alpha$  (1-6) cada 20 o 25 unidades, es mayor que la amilosa, y representa aproximadamente 70 a 80 % del almidón contenido en los granos de cereales (Kotarski *et al.*, 1992). El almidón está formado por gránulos altamente organizados en los cuales la amilosa y la amilopectina están unidas por puentes de hidrogeno (Nocek y Tamminga, 1991). Los gránulos del almidón son pseudocristales que poseen regiones organizadas (cristalina) y no organizadas (amorfa). La región cristalina o micelar está compuesta principalmente de amilosa y presenta resistencia a la hidrólisis y al ataque enzimático.

La degradabilidad del almidón depende de la relación amilosa:amilopectoína y otro factor que afecta la digestión del almidón de los cereales es la presencia de una matriz proteínica alrededor del gránulo la cual dificulta la acción de las 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. El sorgo, por ejemplo, es uno de los granos de cereales que presenta mayor variación en la degradabilidad ruminal (McAllister *et al.*, 1993), y puede ser superior al 90 % (Lee *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2010).

#### **2.3.4. Hinchamiento y gelatinización**

Cuando un almidón es suspendido en agua y gradualmente calentado (hasta 55 °C), los gránulos se hinchan o embeben 50 % o más de su peso de agua. Este hinchamiento es reversible, y después que se enfría y seca el almidón se observa no alterado. Sin embargo, si el calentamiento continúa en un intervalo de 60 a 80 °C la mayoría del almidón sufre un hinchamiento o gelatinización irreversible en el cual los gránulos pierden su cristalinidad (óptica y rayos-X). El resultado es un enorme incremento en la viscosidad de la dispersión y si está suficientemente concentrada se forma un gel rígido. Si el calentamiento es prolongado, especialmente con agitación mecánica, la estructura de los gránulos se desintegra (probablemente con una reducción el tamaño molecular) hasta que se produce una solución coloidal (French, 1973).

Muchos factores o tratamientos pueden alterar las propiedades de hinchamiento del almidón, entre ellos la cantidad de agua disponible (French, 1973). La gelatinización del almidón puede ser causada por agentes mecánicos, térmicos, químicos o su combinación (Lund, 1984), y una gelatinización mecánica del almidón ocurre durante la molienda de los cereales. El intervalo de temperatura de gelatinización (ITG) varía con el genotipo de maíz y factores ambientales relacionados con la producción del cultivo.

El ITG de almidón de maíz normal es de 62 a 72 °C. A 62 °C la captación de humedad por los gránulos de maíz no excede de 1:2 y 33 % de humedad (Krieger *et al.*, 1998).

Si el almidón de maíz es calentado a una temperatura saturada de vapor de 95 °C, los gránulos continuarán hinchándose a una concentración de humedad de 24:1 (96 % de humedad). Aunque los híbridos de maíz ceroso contienen mucho menos amilosa que el maíz normal, ellos tienen ITG similar y solubilidad de almidón a 95 °C. Sin embargo, el poder de hinchamiento (g de captación de agua/g de almidón a 95 °C por 30 min.) de almidón de maíz ceroso es 267 % más grande que el de almidón de maíz normal. Durante la gelatinización, los gránulos de amilopectina (de híbridos cerosos) se hincharán hasta 200 %, mientras que los gránulos altos en amilosa (de híbridos altos en amilosa) pueden no hincharse con el calor húmedo. En adición a la variedad de maíz, factores ambientales pueden alterar la gelatinización del almidón; así, las características del almidón pueden ser afectadas por la temperatura ambiental, tipo de suelo, fecha de siembra, año y localización (Krieger *et al.*, 1998).

### **2.3.5. Importancia del procesamiento de los granos**

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. Beauchemin *et al.* (1999) señalan que el maíz se procesa con el propósito de liberar el almidón de la matriz proteica a la cual está fuertemente adherida para permitir su digestión. El almidón de la cebada se encuentra en una cáscara muy indigestible dentro de una matriz amorfa en el endospermo y su digestión ruminal es mucho más rápida que el almidón del maíz; por esta razón la cebada se muele finamente para romper esa cáscara, sin embargo, pueden ocurrir trastornos metabólicos (acidosis) en rumiantes que reciben este grano.

Para un grano y método de procesamiento específico, la fuente de forraje y humedad pueden influenciar significativamente la tasa de ganancia y energía metabolizable del grano, probablemente debido a errores de manejo, adaptación de la dieta y sitio de extensión de la digestión del almidón (Owens *et al.*, 1997). Las enzimas amilolíticas se utilizan para fines industriales como la licuefacción y sacarificación del almidón para la elaboración de jarabes, y se ha propuesto evaluarlas *in vitro* e *in vivo* como aditivos en nutrientes energéticos de la dieta para rumiantes. Lee *et al.* (2010) reportan que la adición de una mezcla de enzimas amilolíticas no tuvo efecto sobre las variables productivas de borregos en engorda, pero señalan que en dietas con una alta degradabilidad no se obtendrán resultados positivos.

En vacas secas alimentadas con paja de trigo, heno y cebada molida (10:90:0, 10:60:30 y 10:30:60), un factor determinante en la digestión ruminal del almidón fue el tiempo de retención de partículas, el cual varía de acuerdo al procesamiento del grano (Noziere *et al.*, 1996). En novillos con cánula ruminal la digestión del sorgo aumentó al incrementar la proporción del sorgo rolado en seco, pero una mezcla de maíz húmedo y sorgo rolado en seco no cambió la digestión ruminal del almidón (Mendoza *et al.*, 1998).

### **2.3.6. Digestión del almidón en el rumen**

La tasa y extensión de la digestión del almidón en el rumen está determinada por la relación intrínseca de varios factores: la fuente del almidón, la composición de la dieta, la cantidad de alimento consumido por unidad y tiempo, las 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. Los factores para controlar la tasa y extensión de la digestión del almidón son el

manejo del consumo de alimento, el procesamiento del grano (molido, rolado en seco o en vapor) y el uso de aditivos alimenticios (Owens *et al.*, 1997).

La hidrólisis del almidón en el rumen es el resultado de la acción por diversas amilasas microbianas que producen oligosacáridos, maltotriosa, maltosa y pequeñas cantidades de glucosa (Cotta, 1988). Las bacterias y protozoarios en el rumen sintetizan amilasas para hidrolizar los gránulos de almidón. Aún no se conoce con exactitud el mecanismo por el cual las bacterias ruminales se adhieren al almidón, pero es posible que se deba a algunas propiedades de la amilasa (Mendoza, 1992).

Por su número predominante y diversidad metabólica, las bacterias ruminales son las responsables de la mayor parte de la digestión del alimento en el rumen. 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  $\alpha$ -amilasa y glucoamilasa son muy importantes en la hidrólisis del almidón en el rumen. La primera, una endohidrolasa, actúa en los enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 de la amilasa y amilopectina, produciendo oligosacáridos de bajo peso molecular. La glucoamilasa es una exohidrolasa que rompe enlaces  $\alpha$ -1,4 del grupo final del almidón y de los fragmentos del almidón producidos por la hidrólisis de amilasa. Esta enzima también puede romper enlaces  $\alpha$ -1,6 aunque en forma limitada (Mendoza y Ricalde, 1993).

En el rumen la microflora realiza la fermentación del almidón y la tasa de esta fermentación es variable e influenciada por el tipo de grano, el método de



procesamiento, el tipo de dieta y la especie de rumiante (Theurer, 1986). Asimismo, la tasa y extensión de la digestión del almidón puede cambiar según la composición de los ácidos producidos en la fermentación microbiana, el pH ruminal, la cantidad de almidón disponible para la digestión, y la forma química y física del almidón (Theurer, 1986). Estos factores alteran la eficiencia de utilización del almidón y la conversión alimenticia por el rumiante.

Entre 18 y 42 % del almidón de granos de maíz y sorgo puede llegar al intestino delgado para su digestión (Owens *et al.*, 1997). Lo anterior está en función de la tasa de fermentación ruminal de los granos: si es lenta puede causar una incompleta digestión total del almidón en el tubo digestivo, pero si es rápida y el consumo del alimento es alto, la capacidad amortiguadora y de absorción puede no compensar la gran cantidad de ácidos producidos en la fermentación ruminal (Theurer, 1986; Owens *et al.*, 1986).

### **2.3.7. Factores que afectan la digestión del almidón en rumiantes**

La digestibilidad del almidón es afectada por la composición y forma física del almidón, interacciones proteína-almidón, la integridad celular de las unidades que contienen almidón, factores antinutricionales y la forma física del alimento (Thorne *et al.*, 1983). La digestibilidad de gránulos de almidón aislados *in vitro* e *in vivo* muestra una alta variación (Dreher *et al.*, 1984). La digestibilidad del almidón es en general inversamente proporcional al contenido de amilosa (Roney y Pflugfelder, 1986).

### **2.3.8. Fermentación ruminal del almidón**

La degradación ruminal del almidón por bacterias amilolíticas ocurre mediante la acción de la  $\alpha$ -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 (Allen *et al.*, 2009). Sin embargo, mediciones *in vivo* indican que una importante parte del propionato no es convertida a glucosa (Steel y Leng, 1973). La oxidación de propionato a través de la conversión a acetyl-coenzima A (CoA), disminuye los carbonos disponibles para la gluconeogénesis (Aiello y Armentano, 1987).

En vacas lecheras en producción más del 90 % de propionato es utilizado por el hígado, aunque la absorción hepática de propionato no puede explicar más de un 55 % de la producción hepática de glucosa (Reynolds *et al.*, 1988).

#### **2.4. Precursores de glucosa**

Los rumiantes obtienen 25 % o menos de glucosa directamente del almidón, por lo que la gluconeogénesis es la principal la vía para obtener glucosa (Huntington, 1997). Los precursores de glucosa provenientes de la digestión del almidón son las principales fuentes de carbono para la gluconeogénesis y el propionato es cuantitativamente el más importante (Huntington, 2006).

La captación de propionato es alrededor del 70 % de la producción neta de glucosa en el hígado; medidas directas muestran un intervalo de 40 al 80 % como la máxima contribución teórica de propionato para la gluconeogénesis hepática (Cuadro 2), y a continuación está la gluconeogénesis por L-lactato y aminoácidos. Propionato y lactato son productos directos de la fermentación y los aminoácidos son en parte proteína microbiana. Sin embargo, aminoácidos y lactato pueden llegar al hígado como productos del ciclo de Cori, desaminación o transaminación de aminoácidos glucogénicos (Huntington, 2006).

Las vacas en transición probablemente tienen un uso mayor de lactato y glicerol y menos propionato inmediatamente antes de la gluconeogénesis y después del parto (Reynolds *et al.*, 2003), porque movilizan los tejidos adiposos del cuerpo para apoyar el inicio de la lactancia. En novillos alimentados con dietas altas en cereales aumentó el suministro de propionato que está directamente vinculado al aumento de la gluconeogénesis (Lozano *et al.*, 2000).

Cuadro 2. Producción de glucosa en el hígado y contribución máxima teórica de propionato, L-lactato y aminoácidos.

Variable	Novillos engorda			Vacas lecheras		
Producción de glucosa en el hígado, kg d <sup>-1</sup>	0.39-0.60 <sup>1</sup>	0.78 <sup>2</sup>	0.69-1.18 <sup>3</sup>	1.12-1.67 <sup>4</sup>	3.08-3.11 <sup>5</sup>	3.6 <sup>6</sup>
Contribución de glucosa, %						
Propionato	48-64	73	60-77	43-54	55-58	66
L-lactato	26-36	13	16-35	16-20	18-21	8
Aminoácidos	16-30	12	11-28	17-22	15-17	
Alanina	-	-				2
Glicerol	-	-				0.4

Adaptado de Huntington (2006). <sup>1</sup>Taniguchi *et al.* (1995). <sup>2</sup>Huntington (1990). <sup>3</sup>Eisemann *et al.* (1996). <sup>4</sup>Lozano *et al.* (2000). <sup>5</sup>Reynolds *et al.* (1988). <sup>6</sup>Reynolds *et al.* (2003).

El efecto de la insulina sobre la liberación y absorción neta de los precursores de glucosa muestra que el suministro de insulina incrementa el aporte de compuestos euglicémicos e hiperinsulinémicos en novillos, con lo que se reduce la producción hepática de glucosa (Eisemann y Huntington, 1994), y que existe una alta prioridad para eliminarlo de sangre al ser utilizado para satisfacer las necesidades de la gluconeogénesis (Donkin y Armentano, 1995).

#### 2.4.1. Propionato en nutrición de rumiantes

En rumiantes el propionato sirve como fuente de energía aunque también puede actuar de forma independiente como mediador metabólico (Liu *et al.*, 2009). Este AGV puede contribuir hasta con 60 % del sustrato necesario para la gluconeogénesis (Drackley *et al.*, 2001), en dietas altas en carbohidratos fácilmente fermentables, lo cual aumenta los riesgos de acidosis (Lechartier y Peyraud, 2010). El aumento de precursores gluconeogénicos (propionato) en ganado lechero puede optimizar la utilización de

nutrientes para una mayor producción (Waterman *et al.*, 2006). La energía utilizada a partir de la fermentación se incrementa si el hidrógeno se usa para reducir el piruvato a propionato en lugar de reducir al CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> (Ørskov, 1977).

El propionato es un estimulador de la secreción de la insulina, una hormona que actúa en el control de la saciedad. 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).

Forbes (1988) señala que la ingesta de alimento es afectada por el propionato y otros sustratos oxidados por el hígado, pero no por los productos de estas reacciones de oxidación. Además, el consumo de alimento en vacas en lactación está influenciado por factores metabólicos relacionados con el incremento de insulina en respuesta a sus precursores (propileno glicol) (Nielsen e Ingvarsten, 2004). Aunque, se carece de evidencia para explicar los efectos sobre la ingesta de alimento a partir de la oxidación hepática en rumiantes (Bradford *et al.*, 2007).

## LITERATURA CITADA

- Aiello, L. J., and L. E. Armentano. 1987. Effects of volatile fatty acids on propionate metabolism and gluconeogenesis in caprine hepatocytes. *J. Dairy Sci.* 70: 2504-2510.
- Anil, M. H., and J. M. Forbes. 1980. Feeding in sheep during intraportal infusions of short-chain fatty acids and the effect of liver denervation. *J. Physiol.* 298: 407-414.
- Anil, M. H., and J. M. Forbes. 1988. The roles of hepatic nerves in the reduction of food intake as a consequence of intraportal sodium propionate administration in sheep. *Q. J. Exp. Physiol.* 73: 539-546.
- Anil, M. H., J. N. Mbanya, H. W. Symonds, and J. M. Forbes. 1993. Responses in the voluntary intake of hay or silage by lactating cows to intraruminal infusions of sodium acetate or sodium propionate, the tonicity of rumen fluid or rumen distension. *Br. J. Nutr.* 69: 699-712.
- Baile, C. A. 1971. Metabolites as feedbacks for control of feed intake and receptor sites in goats and sheep. *Physiol. Behav.* 7: 819-26.
- Baird, G. D., M. A. Lomax, H. W. Symonds, and S. R. Shaw. 1980. Net hepatic and splanchnic metabolism of lactate, pyruvate and propionate in dairy cows in vivo in relation to lactation and nutrient supply. *Biochem. J.* 186: 47-57.
- Beauchemin, K. A., W. Z. Yang, and L. M. Rode. 1999. Effects of grain source and enzyme additive on site and extent of nutrient digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82: 378-390.

- Bergman, E. N. 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiol. Rev.* 70: 567–590.
- Bradford, B. J., and M. S. Allen. 2007. Phlorizin administration does not attenuate hypophagia induced by intraruminal propionate infusion in lactating dairy cattle. *J. Nutr.* 137: 326–330.
- Britton, R. A., and R. A. Stock. 1986. Acidosis, rate of starch digestion and intake. In: Agricultural Experiment Station Oklahoma State University (ed). Symposium Proceedings: Feed Intake by Beef Cattle. pp: 125-136.
- Choi, B. R., and M. S. Allen. 1999. Intake regulation by volatile fatty acids and physical fill. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 29(ISRP): 40–41 (abs.).
- Clayton, G. 2006. World feed panorama: Feed more profitable, but disease breeds uncertainty. [http://www.ifif.org/files/WorldFeed06\[1\].pdf](http://www.ifif.org/files/WorldFeed06[1].pdf). Consultado 15/07/2011.
- Cotta, M. R. 1988. Amilolytic activity of selected ruminal bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 54: 772-776.
- Deetz, L. E., and P. J. Wangsness. 1981. Influence of intrajugular administration of insulin, glucagon and propionate on voluntary feed intake of sheep. *J. Anim. Sci.* 53: 427–433.
- DeFrain, J. M., A. R. Hippen, K. F. Kalscheur, and R. S. Patton 2005. Effects of feeding propionate and calcium salts of long-chain fatty acids on transition dairy cow performance. *J. Dairy Sci.* 88: 983–993.
- DeJong, A., A. B. Steffens, and L. De Ruiter. 1981. Effects of portal volatile fatty acid infusions on meal patterns and blood composition in goats. *Physiol. Behav.* 27: 683–689.

- Donkin, S. S., and L. E. Armentano. 1995. Insulin and glucagon regulation of gluconeogenesis in pre-ruminating and ruminating bovine. *J. Anim. Sci.* 76: 543–551.
- Drackley, J. K., T. R. Overton, and G. N. Douglas. 2001. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 84: 100–112.
- Dreher, M. L., C. J. Dreher, and J. W. Berry. 1984. Starch digestibility of foods: A nutritional perspective. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 20: 47.
- Eisemann, J. H., and G. B. Huntington. 1994. Metabolite flux across portal-drained viscera, liver, and hindquarters of hyperinsulinemic, euglycemic beef steers. *J. Anim. Sci.* 72: 2919–2929.
- Eisemann, J. H., G. B. Huntington, and D. R. Catherman. 1996. Patterns of nutrient interchange and oxygen use among portal drained viscera, liver, and hindquarters of beef steers from 235 to 525 kg body weight. *J. Anim. Sci.* 74: 1812–1831.
- FAO. 2008. Conferencia de alto nivel sobre seguridad alimentaria mundial: los desafíos del cambio climático y la bioenergía. Roma, Italia, del 3 al 5 de junio de 2008. [www.fao.org](http://www.fao.org). Consultado 18/07/2011.
- Farningham, D. A. H. and C. C. Whyte. 1993. The role of propionate and acetate in the control of food intake in sheep. *Br. J. Nutr.* 70: 37–46.
- Ferraro S. M., G. D. Mendoza, L. A. Miranda, and C. G. Gutiérrez. 2009. *In vitro* gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 154(1): 112-118.



- FIRA. 2008. Situación Actual y Perspectivas de los Granos en México. Boletín informativo 32 Dirección de Consultoría en Agronegocios. 91 p.
- Forbes, J., M. 1988. Metabolic aspects of the regulation of voluntary food intake and appetite. *Nutr Res Rev.* 1: 145–68.
- French D. 1973. Chemical and physical properties of starch. *J. Anim. Sci.* 37: 1048-1061.
- Gonzalez, M. A., y Z. Y. Castañeda. 2008. Biocombustibles, biotecnología y alimentos: Impactos sociales para México. Argumentos, UAM-X. <http://scielo.unam.mx/pdf/argu/v21n57/v21n57a4.pdf>. Consultado 18/07/2011.
- Herrera S. R. E., J. T. Huber, and M. H. Poore. 1990. Dry matter, crude protein and degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73: 2386-2393.
- Huntington B. G. 1997. Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75: 852-867.
- Huntington, G. B. 1990. Energy metabolism in the digestive tract and liver of cattle: Influence of physiological state and nutrition. *Reprod. Nutr. Dev.* 30: 35–47.
- Huntington, G. B., D. L. Harmon, and C. J. Richards. 2006. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *J. Anim. Sci.* 84(E. Suppl.): E14–E24.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Censo de Población y Vivienda. 2005. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/default.aspx>. Consultado 15/07/2011.

- International Energy Agency. .2007. Word Energy Outlook 2006.  
<http://www.worldenergyoutlook.org/2006.asp>. Consultado 15/07/2011
- International Energy Agency. .2010. Word Energy Outlook 2009.  
[http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/WEO2009\\_es\\_spanish.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/WEO2009_es_spanish.pdf).  
Consultado 18/07/2011
- Judson, G. J., E. Anderson, J. R. Luick, and R. A. Leng. 1968. The contribution of propionate to glucose synthesis in sheep given diets of different grain contents. *Br. J. Nutr.* 22: 69-75.
- Kawas, J. R., R. Garcia-Castilo, H. Fimbres-Durazo, F. Garza-Cazares, J. F. G. Hernandez-Vidal, E. Olvares-Saenz, and C. D. Lu. 2007. Effects of sodium bicarbonate and yeast on nutrient intake, digestibility, and ruminal fermentation of Light-weight lambs fed finishing diets. *Small Ruminant Res.* 67: 149-156.
- Kebreab, E., J. Dijkstra, A. Bannink, and J. France. 2009. Recent advances in modeling nutrient utilization in ruminants. *J. Anim Sci.* 87: 111-122.
- Kotarski S. F., R. D. Wanisha, and K. K. Thurn. 1992. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *J. Nut.* 122: 178-190.
- Krieger K. M., L. M. Pollak, T. J. Brumm, and P. J. White. 1988. Effects of pollination method and growing location on starch thermal properties of corn hybrids. *Cereal Chem.* 75: 656-659.
- Lechartier, C., and J. L. Peyraud. 2010. The effects of forage proportion and rapidly degradable dry matter from concentrate on ruminal digestion in dairy cows fed corn silage-based diets with fixed neutral detergent fiber and starch contents. *J. Dairy Sci.* 93: 666–681.

- Lee-Rangel H. A., G. D. Mendoza, J. M. Pinos-Rodríguez, R. Bárcena, F. Plata, and R. Ricalde. 2006. Effect of an exogenous glucoamylase during different periods of time of performance of lambs fed sorghum based diets. *J. Appl. Anim. Res.*, 29: 141- 144.
- Lee-Rangel H. A., J. M. Pinos-Rodríguez, G. D. Mendoza, S. S. González, M. A. Montes, A. S. Trejo, and Y. Jasso-Pineda. 2010 Effect of a ruminal buffer and exogenous amylolytic enzymes on growth and digestion in lambs fed high concentrate diets. *J. Appl. Anim. Res.* 37: 117-120.
- Leuvenink H. G. D., E. J. B. Bleumer, L. J. G. M. Bongers, J. VanBruchem, and D. VanDerHeide. 1997. Effect of short-term propionate infusion on feed intake and blood parameters in sheep. *Am. J. Physiol.* 272: E997–E1001.
- Lozano, O., C. B. A. Theurer, J. T. Alio, A. Huber, P. Delgado-Eldorduy, D. Cuneo, DeYoung, M. Sadik, and R. S. Swingle. 2000. Net absorption and hepatic metabolism of glucose, L-lactate, and volatile fatty acids by steers fed diets containing sorghum grain processed as dry-rolled or steam-flaked at different densities. *J. Anim. Sci.* 78:1364–1371.
- Lozano, O., C. B. Theurer, A. Alio, J. T. Huber, A. Delgado-Eldorduy, P. Cuneo, D. DeYoung, M. Sadik, and R. S. Swingle. 2000. Net absorption and hepatic metabolism of glucose, L-lactate, and volatile fatty acids by steers fed diets containing sorghum grain processed as dry-rolled or steam-flaked at different densities. *J. Anim. Sci.* 78:1364–1371.
- Lund D. 1984. influence of time, temperature, moisture, ingredients and processing conditions on starch gelatinization. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 20: 249.

- McAllister T. A., Y. Dong, L. J. Yanke, H. D. Bae, and K. J. Cheng. 1993. Cereal grains digestion by selected strains of ruminal fungi. *Can. J. Microbiol.* 39: 367-376.
- McAllister, T. A., H. D. Bae., G. A. Jones, and K. J. Cheng. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *J. Anim. Sci.* 82: 3004-3018.
- McGinty D. D. and J. K. Riggs. 1968. Variation in digestibility of sorghum grain varieties. *J. Anim. Sci.* 27: 1170-1182.
- Mendoza M. G., R. A. Britton, and R. A. Stock. 1998. Ruminal fermentation and *in situ* starch digestion with high moisture corn, dry rolled grain sorghum or a mixture of these grains. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74: 329-335.
- Mendoza, M. G. D., 1992. Digestión ruminal del almidón en rumiantes alimentados con dieta altas en grano. *In: Tópicos Avanzados en Nutrición de Rumiantes.* Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Puebla. pp: 102-114.
- Mendoza, M. G. D., y V. Ricalde. 1993. Alimentación de Ganado Bovino con Dietas Altas en Grano. Primera Edición. Libro de Texto. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. 97 p.
- Mille, F. R., R. S. Loerey W. G. Monson G. W. Burton, and H. J. Cruzado. 1972. Estimates of dry matter digestibility differences in grain of some *Sorghum bicolor* (L.) Moench varieties. *Crop Sci.* 12: 563-569.
- Nielsen, N. I., and K. L. Ingvarsen. 2004. Propylene glycol for dairy cows A review of the metabolism of propylene glycol and its effects on physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115: 191–213

- Nocek J. E., and S. Tamminga. 1991. Site of digestion of starch in gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk composition. *J. Dairy Sci.* 74: 3598-3629.
- Noziere, P., and M. B. Doreau. 1996. Effects of amount and availability of Starch on amylolytic activity of ruminal solid – associated microorganisms. *J. Sci. Food Agric.* 471-476.
- Oba, M., and M. S. Allen. 2003. Intra-ruminal infusion of propionate alters feeding behavior and decreases energy intake of lactating dairy cows. *J. Nutr.* 133: 1094–1099.
- Orskov E. R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63: 1624-1633.
- Owens F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, and D. R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 75: 868-879.
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, and D. R. Gill. 1998. Acidosis in cattle: A review. *J. Anim. Sci.* 76: 275-286.
- Quigley, J. D., and R. N. Heitmann. 1991. Effects of propionate infusion and dietary energy on dry matter intake in sheep. *J. Anim. Sci.* 69: 1178–1187.
- Reynolds, C. K., D. J. Humphries, S. B. Cammell, J. Benson, J. D. Sutton, and D. E. Beever. 1998. Effects of abomasal wheat starch infusion on splanchnic metabolism and energy balance of lactating cows. *In: McCracken, K., E. F. Unsworth, and A. R. G. Wylie (eds). Energy Metabolism of Farm Animals.* CAB International, New York, NY. pp: 39–42.
- Reynolds, C. K., G. B. Huntington, H. F. Tyrell, and P. L Reynolds. 1988. Net metabolism of volatile fatty acids, D-13-hydroxybutyrate, nonesterified fatty acids

- and blood gasses by portal-drained viscera and liver of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 71: 2395-2405.
- Reynolds, C. K., P. C. Aikman, B. Lupoli, D. J. Humphries, and D. E. Beever. 2003. Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early gestation. *J. Dairy Sci.* 86: 1201–1217.
- Rooney L., W., and R. L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63: 1607-1623.
- SAGARPA. [www.siap.gob.mx/aagricola\\_siap](http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap). Consultado 15/07/2011
- Schmidhuber, J. 2006. Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective. “International Symposium on Notre Europe”, Paris, France, 27–29 Nov. 2006. [http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0704\\_Schmidhuberimpact\\_of\\_an\\_increased\\_biomass\\_use\\_on\\_agricultural\\_markets\\_prices\\_and\\_food\\_security.pdf](http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0704_Schmidhuberimpact_of_an_increased_biomass_use_on_agricultural_markets_prices_and_food_security.pdf). Consultado 18/07/2011.
- Seal, C. J., and C. K. Reynolds. 1993. Nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants. *Nutr. Res. Rev.* 6: 185–208.
- Steel, J. W., and R. A. Leng. 1973. Effects of plane of nutrition and pregnancy on gluconeogenesis in sheep. *Br. J. Nutr.* 30: 475-489.
- Taniguchi, K., G. B. Huntington, and B. P. Glenn. 1995. Net nutrient flux by visceral tissues of beef steers given abomasal and ruminal infusion of casein and starch. *J. Anim. Sci.* 73:236–249.
- Theurer B.C. 1986. Grain processing and starch utilization. Grain processing effects on starch utilization by ruminant. *J. Animal Sci.* 63: 1649-1662.

- Thorne, M.J., L.U. Thompson, and D.J.A. Jenkins. 1983. Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. *Am. J. Clin. Nutr.* 38:481-488.
- Trabue, S., K. Scoggin, S. Tjandrakusuma, M.A. Rasmussen, and P. J. Reilly. 2007. Ruminal fermentation of propylene glycol and glycerol. *J. Agric. Food Chem.* 55, 7043–7051.
- Urquidi V. L. 2005. Perspectiva de la población mundial. *Estudios Demográficos y Urbanos.* 58: 9-21.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutrition Ecology of the Ruminants.* Cornell University Press, Ithaca. NY. 476 p.
- Waterman, R. C., J. E Sawyer, C. P Mathis, D. E. Hawkins, G. B. Donart, and M. K. J. Petersen. 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. *Anim. Sci.* 84: 433–446.
- Yokoyama, M. T., and K. A. Johnson. 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.
- Zinn, R. A. 1994. Influence of flake thickness on the feeding value of steam-rolled wheat for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 72: 21-28.

# **CAPÍTULO III. EFECTO DEL PROPIONATO DE CALCIO Y DEL NIVEL DE GRANO (SORGO + MAÍZ) EN VARIABLES RUMINALES, EN LA GLUCOSA PLASMÁTICA Y LA RESPUESTA PRODUCTIVA DE BORREGOS EN FINALIZACIÓN**

## **3.1. INTRODUCCIÓN**

En los sistemas pecuarios altamente productivos es importante evaluar modificadores metabólicos para maximizar el consumo de energía (Calsamiglia *et al.*, 2001; Mendoza *et al.*, 2008). Aunque la alimentación con granos más fermentables en la dieta aumenta su densidad energética, el exceso de estos granos en el rumen ocasionalmente reduce el consumo de materia seca, lo cual no necesariamente aumenta la ingesta de energía (Davis, 1967; Oba *et al.*, 2003). Dado que el costo de los granos aumenta en el mundo, el uso de precursores de glucosa como glicerol, propilen glicol (Ferraro *et al.*, 2009) o propionato de calcio, puede ser una alternativa para sustituir parcialmente a los granos.

Propilen glicol o propionato de calcio se usan en ganado lechero para corregir problemas metabólicos; sin embargo, dado que el propilen glicol se puede metabolizar en compuestos sulfurosos (Traube *et al.*, 2007) sólo debiera incorporarse propionato de calcio en las dietas. Lo anterior aumentaría la concentración de propionato en el rumen, el cual es el principal precursor para sintetizar glucosa en el hígado para utilizarla en los procesos metabólicos de los rumiantes (Aiello *et al.*, 1988). El propionato de calcio se debe incorporar en dosis bajas porque tiene un efecto hipofágico en rumiantes (Anil *et al.*, 1988; Choi *et al.* 1999 y Oba *et al.*, 2003) el cual está asociado a un nivel de umbral de respuesta a cierta dosis en ganado lechero (Anil *et al.*, 1993) y en ovinos (Farningham *et al.*, 1998).



Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la incorporación de propionato de calcio (Ca) y de dos niveles de grano (sorgo + maíz) en dietas para borregos en finalización, sobre variables productivas, ruminales y la glucosa sanguínea.

## **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.2.1. Animales y dietas**

Se utilizaron 32 borregos Criollo machos con un peso promedio de  $28.14 \pm 2.34$  kg, los cuales fueron asignados aleatoriamente a uno de cuatro tratamientos (dietas; Cuadro 3): 1) 65 % de grano (45 % sorgo + 20 % maíz) y 0% de propionato de Ca (Bekarem®, 78% ácido propiónico), DASP; 2) 55 % de grano (35 % sorgo + 20 % maíz) y 0 % de propionato de Ca, DBSP; 3) 65 % de grano (45 % sorgo + 20 % maíz) y 1 % de propionato de Ca, DACP; 4) 55 % de grano (35 % sorgo + 20 % maíz) y 1 % de propionato de Ca, DBCP. Los borregos fueron alojados en jaulas individuales equipadas con comedero y bebedero, y el alimento se proporcionó a las 08:00 y 15:00 h. Los borregos fueron adaptados a las dietas durante 10 d y el experimento duró 41 d (1 de agosto al 10 de septiembre del 2009). En las dietas (Cuadro 1) se determinó nitrógeno total (AOAC, 1997), fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) por el método de Van Soest *et al.* (1991), y almidón (Herrera-Saldaña y Huber, 1989).

Cuadro 3. Dietas experimentales y composición química

Composición MS%	DASP	DBCP	DACP	DBSP
Sorgo	45	35	45	35
Maíz	20	20	20	20
Rastrojo de maíz	15.5	23	14.5	24
Melaza	10	10	10	10
Soya	7	8.5	7	8.5
Urea	1	1	1	1
Minerales <sup>1</sup>	1	1	1	1
Propionato de Ca <sup>2</sup>	0	1	1	0
Acid Buff <sup>3</sup>	0.5	0.5	0.5	0.5
Composición química %*				
MS	87.34	87.91	87.42	87.82
PC	15.62	14.47	15.6	14.47
FDN	19.34	25.26	16.83	27.31
FDA	9.52	15.34	8.01	14.35
Almidón	43.81	37.45	44.62	38.56

<sup>1</sup>Vitasal 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.

<sup>2</sup>Bekarem® 78 % ácido propiónico y 22 % Ca. <sup>3</sup>Acid buf® cada kg contiene: CaCO<sub>3</sub> 750 g, MgCO<sub>3</sub> 190 g, S 4.6 g, Na 20 g, Fe 2 g, Mn 125 ppm, Mb 39 ppm, Zn 37 ppm, Co ppm, Cu 12

ppm, I 160 ppm y Se 1 ppm.\*Análisis realizados en el laboratorio de nutrición animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados.

DASP = 65 % grano (45 % sorgo + 20 % maíz) y 0 % de propionato de Ca. DBCP = 55 % grano (35 % sorgo + 20 % maíz) y 1 % propionato de Ca. DACP = 65 % grano (45 % sorgo + 20 % maíz) y 1 % propionato de Ca. DBSP = 55 % grano (35 % sorgo + 20 % maíz) y 0 % de propionato de Ca.

### **3.2.2. Ensayo de crecimiento**

Las variables evaluadas fueron consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia, rendimiento en canal y área de chuleta. La GDP se midió cada 14 d, mientras que el rendimiento en canal caliente en peso vivo vacío se obtuvo al sacrificio de los borregos y el área de chuleta se evaluó (un día antes del sacrificio) por ultrasonografía (Silva *et al.*, 2005).

### **3.2.3. Fermentación ruminal**

El último día del ensayo se extrajo líquido ruminal de los borregos mediante sonda esofágica y se midió el pH con un potenciómetro. Posteriormente se determinaron ácidos grasos volátiles mediante cromatografía de gases (Erwin *et al.*, 1961).

### **3.2.4. Glucosa sanguínea**

Se obtuvo sangre el último día del experimento, sin anticoagulante, se centrifugó inmediatamente para obtener el suero y congelarlo, y la glucosa se analizó mediante la técnica descrita por Trinder (1969).

### **3.3. Análisis estadístico**

Los resultados se analizaron de acuerdo con un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2 x 2 de tratamientos. Para las variables medidas más de una vez (GDP, consumo, conversión, glucosa) se usó el procedimiento MIXED, mientras que para las variables registradas una sola vez (rendimiento en canal, área de chuleta, pH y AGV) se usó el procedimiento GLM (SAS, 2002). Las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Ensayo de crecimiento

#### 4.1.1. Consumo diario de alimento

El consumo no se modificó por el nivel de grano (Cuadro 4) a pesar de las diferencias en contenido de FDN y almidón; al respecto, los niveles de forraje fueron muy bajos como para cambiar el consumo debido a una distención (Allen, 1997). La adición de propionato no disminuyó ( $p > 0.05$ ) el consumo lo cual no coincide con lo reportado por Oba y Allen (2003ab), Rigout *et al.* (2003) y Bradford y Allen (2007), quienes indican que el consumo se redujo al agregar propionato en la dieta, en el rumen o por la vena porta. En un experimento con propionato de calcio en la dieta no se observaron cambios en consumo en vacas lecheras (DeFrain *et al.*, 2005), pero otros autores reportan disminuciones de 11 % (McNamara y Valdez, 2005).

Cuadro 4. Variables productivas de borregos Criollo alimentados con dietas con grano (sorgo + maíz) y propionato de calcio.

Variable	Tratamiento				EEM	p ≤		
	0 % PrCa		1% PrCa			Grano	Propionato	Interacción
	65 %	55 %	65%	55%				
Peso inicial	24.3	24.53	23.07	23.49	0.76			
Conversión	5.02	4.54	5.06	4.93	0.13	0.40	0.35	0.42
Consumo, g d <sup>-1</sup>	1177	1246	1194	1204	67.04	0.47	0.81	0.58
GDP g	236	269	239	243	13.05	0.34	0.60	0.47
Rendimiento en canal (%)	52.79	50.06	50.62	52.48	1.11	0.70	0.91	0.06
Área de chuleta (mm <sup>2</sup> )	959 <sup>a</sup>	866 <sup>a</sup>	940 <sup>a</sup>	838 <sup>b</sup>	32	0.05	0.52	0.90

PrCa = Propionato de calcio. GDP = Ganancia diaria de peso; Conversión = Consumo/GDP.

Valores con literales diferentes son diferentes significativamente ( $p \leq 0.05$ ).

El efecto inhibitorio en la ingesta de alimento con propionato se detecta en animales cerca de la saciedad (Elliot *et al.*, 1985) siendo mayor el efecto del propionato que del acetato con una disminución del consumo de 9 y 3 % (Shepard y Combs, 1998). La administración de propionato de sodio en la vena ruminal tiene efecto sobre la preferencia del alimento, lo cual puede ser por un mecanismo independiente de los cambios en la osmolaridad y los iones de sodio (Madoka *et al.*, 2008). Se ha propuesto que el hígado actúa como enlace informativo a través del nervio hepático al sistema nervioso central, para reducir la siguiente ingesta en respuesta a dosis altas de propionato (Anil y Forbes, 1988). La tasa de suministro de propionato en la vena porta refleja el rápido aumento en la producción ruminal de AGV, los cuales se incrementan en los 15 min posteriores al inicio del consumo (De Jong, 1981). Los efectos variables sobre el consumo de alimento se pueden deber al nivel de propionato utilizado y a la proporción de concentrado:forraje en la dieta (Liu *et al.*, 2009).

#### **4.1.2. Ganancia diaria de peso**

La ganancia de peso no fue afectada por la adición de propionato (252 vs 241 g d<sup>-1</sup>). Whitney *et al.* (2000) observaron una mayor GDP en novillos asociados con un aumento de la glucosa en sangre derivado de una mayor producción de propionato a nivel ruminal. Parsons *et al.* (2009) indicó que la GDP se incrementó en bovino en engorda que recibieron hasta 10 % glicerol en la dieta, lo cual podría estar relacionado con una producción de propionato (Ferraro *et al.*, 2009).

No se detectó efecto del nivel de grano ni hubo interacción en la GDP (Cuadro 4). Mendoza *et al.* (2007) tampoco encontraron diferencias en la ganancia de peso en ovinos con dietas que variaron entre 62 y 84 % de grano. Hatfield *et al.* (1997) reportan

un aumento en GDP a un mayor contenido de cebada (desde 40 hasta 80 %), sin embargo, Mandebvu y Galbraith (1999) señalan que no hubo efectos significativos de la fuente de energía en la tasa de crecimiento o eficiencia utilizando cebada de un 50 a un 75 % de la dieta. Witt *et al.* (1999) informan que hay una mayor ganancia de peso y mejor conversión alimenticia en ovinos alimentados con dietas a base de cebada que aquellos alimentados con pulpa de remolacha azucarera, debido a una mayor producción de propionato. En general, las dietas que contienen una fuente de almidón se espera que resulte en un aumento en la proporción de propionato ruminal y la disminución de acetato (Bergman, 1990) debido a que las fermentaciones altas en propionato son energéticamente más eficientes (Hungate, 1966).

#### **4.1.3. Conversión alimenticia**

La conversión alimenticia (Cuadro 3) tendió a mejorar por la adición de propionato ( $p = 0.06$ ) lo cual se debe a que se mantuvo la GDP con un menor consumo. Una mayor eficiencia alimenticia ha sido reportada al usar precursores glucogénicos (Richardson *et al.*, 2003) y, además, en el rumen una mayor concentración de propiónico está asociada a una menor producción de calor (Nakruma *et al.*, 2006).

#### **4.1.3. Rendimiento en canal y área de chuleta**

No se encontraron diferencias en el rendimiento en canal por efecto de los tratamientos, aunque la adición de propionato en la dieta con 55 % de grano tendió ( $p = 0.06$ ) a mejorar el rendimiento en una forma similar al de una dieta con 65 % de grano (Cuadro 3) y el área de la chuleta se incrementó ( $p = 0.05$ ) en la dieta con mayor nivel de grano (950 vs. 852 mm<sup>2</sup>). Fluharty *et al.* (1999) reportan que corderos alimentados con una dieta alta en concentrado tuvieron un mayor peso en canal caliente, en área de

chuleta y en rendimiento, en comparación con corderos alimentados con alfalfa. Ross *et al.* (1985) muestran que el nivel de concentrado (40, 60 y 80 %) no afecta las características de la canal medidos, con excepción del área de la chuleta, y otros factores como edad, sexo, raza, e incluso las condiciones ambientales pueden influenciar las características de la canal.

#### **4.2. Fermentación ruminal**

La adición de propionato redujo el pH ruminal ( $p = 0.03$ ; 6.21 vs 6.24) particularmente en la dieta con 65% de sorgo (Cuadro 4), pero la interacción no fue significativa ( $p = 0.68$ ). Este resultado pudo estar asociado con una mayor concentración de ácidos grasos volátiles. En un experimento se observó que las infusiones ruminales de propionato de sodio no afectaron el pH ruminal (Quigley y Heitmann, 1991); sin embargo cuando se incrementa la concentración total de AGV el pH ruminal se disminuye (Brown *et al.*, 2006), ya sea por un incremento de concentrado en la dieta o por infusiones de ácidos al rumen (Mendoza *et al.*, 1993).

Las dietas con un nivel mayor de grano causaron ( $p = 0.005$ ) un menor porcentaje de acetato (51.6 vs 54.4 %) pero uno más alto de propionato (40.1 vs. 33.1 %). La dieta con 65 % de grano más propionato de calcio aumentó la proporción de ácido propiónico (interacción  $p = 0.03$ ; Cuadro 4). El patrón de fermentación fue similar al reportado en ovinos alimentados en dietas altas en grano (Mendoza *et al.*, 1993; Swanson *et al.*, 2000) donde las proporciones molares de acetato son menores que las de propionato en ovinos alimentados con dietas altas en almidón (Swanson *et al.*, 2000) y las dietas altas en forraje promueven una mayor producción de acetato (Cronje *et al.*, 1997).



Cuadro 5. Patrón de fermentación ruminal y glucosa sanguínea de borregos alimentados con dietas altas en grano con y sin propionato.

Variable	Tratamiento				Valor de P			
	0% PrCa		1% PrCa		EEM	Grano	Propionato	Interacción
	65%	55%	65%	55%				
Glucosa mg dL <sup>-1</sup>	17.48 <sup>a</sup>	17.26 <sup>b</sup>	16.64 <sup>a</sup>	18.10 <sup>b</sup>	0.52	0.05	0.77	0.08
pH	6.31	6.18	6.12	6.31	1.32	0.34	0.03	0.68
AGV % molar:								
Acético	56.68 <sup>a</sup>	56.22 <sup>b</sup>	46.54 <sup>a</sup>	52.69 <sup>b</sup>	2.20	0.005	0.21	0.15
Propiónico	36.17	35.40	44.16	30.92	2.74	0.01	0.53	0.03
Butírico	11.13	8.37	9.28	12.39	1.30	0.81	0.46	0.03
Totales, mmol L <sup>-1</sup>	57.76	60.69	52.62	71.14	5.26	0.15	0.62	0.05

Valores con literales diferentes son diferentes significativamente.

PrCa = Propionato de calcio.

#### 4.3. Glucosa sanguínea.

Las concentraciones de glucosa sanguíneas estuvieron correlacionadas con el porcentaje molar de propionato en rumen ( $r = 0.85$ ) ( $p \leq 0.03$ ), sin embargo la adición de propionato de calcio no tuvo efecto en la glucosa (Cuadro 4). Las dietas con 55% de grano tuvieron una ligera mayor ( $p \leq 0.05$ ) concentración de glucosa (17.68 vs. 17.06) lo cual pudo estar asociado al mayor consumo. Estos resultados contrastan con lo reportado por Shepard y Combs (1998) quienes indican que la concentración de glucosa se incrementó con la infusión de propionato pero no fue afectada por el forraje en la dieta. Esto quizás se debe a que en el presente estudio sólo se tomó una muestra

de sangre en el último día del experimento para evaluar este efecto, dado que en rumiantes del 40 al 70 % de carbono de la glucosa deriva del carbono del propionato para glucogénesis (Oba y Allen, 2003).

## **CONCLUSIONES**

La adición de 1 % de propionato de calcio en dietas con 55 a 65 % de grano, no modificó el comportamiento productivo de borregos Criollo en finalización. No se manifestó el efecto inhibitorio del consumo en esas condiciones y sólo se detectaron concentraciones molares de propionato más elevadas en borregos alimentados con las dietas con mayor nivel de grano más propionato de calcio, pero no hubo cambios en la concentración de glucosa sanguínea. El análisis de los resultados indica que la inclusión de propionato de calcio como ingrediente energético permite reemplazar parcialmente el grano en dietas de finalización para ovinos.

## LITERATURA CITADA

- Aiello, R. J., L. E. Armentano S. J. Bertics, and A. T. Murphy. 1989. Volatile fatty acid uptake and propionate metabolism in ruminant hepatocytes. *J. Dairy Sci.* 72:942-949.
- Anil, M. H. and J. M. Forbes. 1988. The roles of hepatic nerves in the reduction of food intake as a consequence of intraportal sodium propionate administration in sheep. *Q. J. Exp. Physiol.* 73: 539–546.
- Anil, M. H., J. N. Mbanya, H. W. Symonds, and J. M. Forbes. 1993. Responses in the voluntary intake of hay or silage by lactating cows to intraruminal infusions of sodium acetate or sodium propionate, the tonicity of rumen fluid or rumen distension. *Br. J. Nutr.* 69: 699–712.
- AOAC. 1997. *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Bergman, E. N. 1990. Energy contributions of volatile fatty acids in the sheep rumen. *Physiol. Rev.* 70:567–590.
- Brown M. S., C. H. Ponce, and R. Pulikanti. 2006. Adaptation of beef cattle to high-concentrate diets: Performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 84(E. Suppl.):E25–E33.
- Choi, B. R. and M. S. Allen. 1998. Intake regulation by volatile fatty acids and physical fill. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 29(ISRP): 40–41 (Abstr.).

- Cronje, P. B., J. V. Nolan, and R. A. Leng. 1991. Acetate clearance rate as a potential index of the availability of glucogenic precursors in ruminants fed on roughage-based diets. *Br. J. Nutr.* 66:301–312.
- Davis, C. L. 1967. Acetate production in the rumen of cows fed either control or low-fiber, high-grain diets. *J. Dairy Sci.* 50: 1621–1625.
- DeFrain J. M., A. R. Hippen, K. F. Kalscheur, and R. S. Patton. 2005. Effects of feeding propionate and calcium salts of long-chain fatty acids on transition dairy cow performance. *J. Dairy Sci.* 88:983–993.
- Elliot, J. M., H. W. Symonds, and B. Pike. 1985. Effect on feed intake of infusing sodium propionate or sodium acetate into a mesenteric vein of cattle. *J. Dairy Sci.* 68: 1165–1170.
- Erwin, E. S., G. J. Marco, and E. Emery. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.*, 44: 1768-1776.
- Farningham, D. A. H, and C. C. Whyte. 1998. The role of propionate and acetate in the control of food intake in sheep. *Br. J. Nutr.* 70: 37–46.
- Ferraro, S. M., G. D. Mendoza, L. A. Miranda, and C. G. Gutiérrez. 2009. *In vitro* gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 154(1):112-118.
- Fluharty F. L. K. E. McClure, M. B. Solomon, D. D. Clevenger, and G. D. Lowe. 1999. Energy source and ionophore supplementation effects on lamb growth, carcass characteristics, visceral organ mass, diet digestibility, and nitrogen metabolism. *J Anim. Sci.* 77:816-823.

- Hatfield, P. G., J. A. Hopkins, G. T. Pritchard, and C. W. Hunt. 1997. The effects of amount of whole barley, barley bulk density, and form of roughage on feedlot lamb performance, carcass composition, and digesta kinetics. *J. Anim. Sci.* 75:3353–3366.
- Herrera-Saldaña, R. and J. T. Huber. 1989. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.*, 72: 1477–1483.
- Hungate, R. E. 1966. *The Rumen and its Microbes*. Academic Press. New York.
- Liu, Q., C. Wang, W. Z. Yang, G. Guo, X. M. Yang, D. C. He, K. H. Dong, and Huang, Y. X. 2009. Effects of calcium propionate supplementation on lactation performance, energy balance and blood metabolites in early lactation dairy cows. *J Anim Physiol. Anim. Nut.* 94: 605–614.
- Madoka, S., I. Tsuyoshi, T. Hideharu, and Y. Akihisa. 2008. Flavour preference conditioned by postabsorptive propionate and acetate in wethers. *Appl. Anim. Behaviour Sci.* 111: 274-285.
- Mandebvu, P., and H. Galbraith. 1999. Effect of sodium bicarbonate supplementation and variation in the proportion of barley and sugar beet pulp on growth performance and rumen, blood and carcass characteristics of young entire male lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 82:37–49.
- Mendoza, M. G. D., R. A. Britton and R. A. Stock. 1993. Influence of ruminal protozoa on site and extent of starch digestion and ruminal fermentation. *J Anim. Sci.*, 71:1572-1578.

- Mendoza, M. G. D., P. F. X. Plata, C. R. Espinoza, and B. A. Lara. 2003. Manejo nutricional para mejorar la utilización de la energía en bovinos. *Universidad y Ciencia UJAT*. 24:1-13.
- Mendoza, M. G. D., P. F. Plata, M. M. Ramirez, D. M. A. Mejia, R. H. Lee, and G. R. Barcena. 2007. Evaluación de alimentos integrales para el engorde intensivo de ovinos. *Rev. Cient. FCV-LUZ* 15:66-72.
- Oba, M. and M. S. Allen. 2003. Extent of hypophagia caused by propionate infusion is related to plasma glucose concentration in lactating dairy cows. *J. Nutr.* 133: 1005-1112.
- Parsons, G. L. M. K. Shelor, and J. S. Drouillard. 2009. Performance and carcass traits of finishing heifers fed crude glycerin. *J. Anim. Sci.* 87:653–657.
- Quigley J. D and R. H. Heitmann. 1991. Effects of propionate infusion and dietary energy on dry matter intake in sheep. *J Anim. Sci.* 69:1178-1187.
- Richardson, J. M., R. G. Wilkinson, and L. A. Sinclair. 2003. Synchrony of nutrient supply to the rumen and dietary energy source and their effects on the growth and metabolism of lambs. *J Anim. Sci.* 81:1332-1347.
- Ross, T. T. M. L. Galyean, J. D. Thomas, and D. M. Ruppe. 1985. Feedlot performance and nutrient digestibility in lambs fed diets with alternating high and low concentrate levels. *SID Res. Dig.* 2:15-19.
- SAS User's Guide: Statistics (Release 8.02). SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA. 2002.
- Shepard, A. C. and D. K. Combs. 1998. Long-term effects of acetate and propionate on voluntary feed intake by midlactation cows. *J. Dairy Sci.* 81:2240–2250.

- Silva S.R. M. J. Gomes, A. Días-da-Silva, L. F. Gil, and J. M. Azevedo. 2005. Estimation in vivo of the body and carcass chemical composition of growing lambs by real-time ultrasonography. *J. Anim. Sci.* 83: 350–357.
- Swanson K. C. J. C. Matthews, A. D. Matthews, J. A. Howell, C. J. Richards and D. L. Harmon. 2000. Dietary carbohydrate source and energy intake influence the expression of pancreatic  $\alpha$ -Amylase in lambs. *J. Nutr.* 130: 2157–2165.
- Trabue S. K. Scoggin, S. Tjandrakusuma, M. A. Rasmussen, and P. J. Reilly. 2007. Ruminal fermentation of propylene glycol and glycerol. *J. Agric. Food Chem.* 55, 7043–7051.
- Trinder P. 1969. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor *Ann. Clin. Biochem.* 6: 24-27.
- Van Soest, P.J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and nonstarch carbohydrates in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597.
- Whitney, M. B., B. W. Hess, L. A. Burgwald-Balstad, J. L. Sayer, C. M. Tsopito, C. T. Talbott and D. M. Hallford. 2000. Effects of supplemental soybean oil level on in vitro digestion and performance of prepubertal beef heifers. *J. Anim. Sci.* 78:504–514.
- Witt M. W., L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson, and P. J. Buttery. 1999. The effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen supply to the rumen on the metabolism and growth of ram lambs given food at a restricted level. *Anim. Sci.* 69:627–636.