

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS**



**INFLUENCIA DEL NIVEL DE PROTEÍNA SOBRE EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO, LA ENERGÉTICA DE LA DIETA Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CORDEROS DE PELO TERMINADOS CON DIETAS ISOCALÓRICAS**

TESIS

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

**PRESENTA**

**I.A.Z. YESICA JANETH ARTEAGA WENCES**

DIRECTOR

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

CO-DIRECTOR

DR. ALFREDO ESTRADA ANGULO

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

FEBRERO DE 2018

**Influencia del nivel de proteína sobre el rendimiento productivo, la energética de la dieta y las características de la canal de corderos de pelo terminados con dietas isocalóricas. Tesis presentada por la I.A.Z. Yesica Janeth Arteaga Wences, misma que fue revisada bajo la dirección del consejo particular indicado, la cual ha sido aprobada y aceptada como requisito para obtener el grado de: Maestro en Ciencias Veterinarias.**

---

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Director de tesis

---

Dr. Alfredo Estrada Angulo

Co- director

---

Dr. Alberto Barreras Serrano

Asesor

---

Dra. María Alejandra López Soto

Asesor

Mexicali, B.C., febrero de 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por la vida y darme las herramientas necesarias para poder llegar a este momento de felicidad.

Al Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias (IICV), por haberme permitido culminar mis estudios de posgrado de maestría en ciencias, por todos los conocimientos adquiridos durante este tiempo que me servirán para el resto de mi vida.

A mis asesores:

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera por su apoyo incondicional durante la realización de la presente investigación, así como también su valiosa amistad es un excelente ser humano, Dios lo bendiga siempre.

Dr. Alfredo Estrada Angulo por todas las atenciones para conmigo durante la estancia que realice en la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS).

Dr. Alberto Barreras Serrano por todo lo aprendido durante su curso de diseños y valiosa amistad.

Dra. María Alejandra López Soto por el apoyo que siempre otorga cuando más se le necesita, por tener tanta paciencia para lidiar con los alumnos de posgrado.

A todos los profesores que forman parte del IICV que participaron en mi formación académica y que de ellos me llevo muchos conocimientos les deseo lo mejor de la vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero otorgado durante mis estudios.

## DEDICATORIA

A mis padres Irene Wences Lagunas y Salvador Arteaga Reyna, es para ellos este logro que una vez más se cumple, los amo sin ustedes nada de esto hubiese sido posible, estoy orgullosa de ustedes mis amores.

A mi única hermana y amiga Anabely Arteaga Wences una vez más puedo decirte misión cumplida TE AMO hermanita, gracias por todo el apoyo incondicional durante esta aventura que fue muy lejos de casa.

A mi amiga la confidente Ana Karen Mariano Martínez, este logro también es para ti porque en todo momento estuviste presente eres un ser maravilloso nunca cambies te quiero mucho.

A Jorge Luis Ramos Méndez eres una pieza fundamental en esta aventura, somos tú y yo contra el mundo este solo es el comienzo de muchos triunfos que nos falta por realizar juntos te amo.

A mis tías las favoritas Aracely Arteaga y María Wences, por todos los buenos momentos que hemos pasado y los consejos que los llevo siempre conmigo las quiero mucho nunca cambien.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
Lista de Cuadros.....	i
Lista de Figuras.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	v
Introducción.....	1
Objetivo e Hipótesis.....	3
Revisión de Literatura.....	4
Degradación de compuestos nitrogenados en rumen.....	4
Cinética ruminal en la degradación de proteína.....	5
Proteína Cruda (PC).....	7
Nitrógeno no proteico (NNP).....	7
Metabolismo de nitrógeno en rumen.....	7
Destino de amoniaco en rumen.....	8
Síntesis de proteína microbiana.....	9
Absorción y reciclaje de N a través de la pared ruminal.....	11
Flujo de N-NH <sub>3</sub> a tracto posterior.....	12
Importancia de la proteína de escape.....	12
Proteína metabolizable.....	14
Utilización de aminoácidos.....	14
Requerimientos de aminoácidos becerros en crecimiento.....	16
Aminoácidos protegidos de la degradación ruminal.....	18
Efecto de diferentes fuentes de proteína en características de la canal.....	20

Efecto de diferentes fuentes de proteína sobre el crecimiento de corderos.....	20
Efecto de las fuentes de proteínas de la dieta en el rendimiento de corderos.....	21
Literatura Citada.....	23
Influence of protein level on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics of Pelibuey x Katahdin lambs finished with isocaloric diets.....	32

## Lista de Cuadros

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1. Composition of experimental diets (DM basis).....	52
2. Variation on CP concentration of ingredients and diets used in the trial.....	53
3. Treatment effects on growth performance in Pelibuey × Katahdin lambs fed different levels of protein.....	54
4. Treatment effects on dietary energy in Pelibuey × Katahdin fed different levels of protein.....	56
5. Treatment effects on carcass characteristics and chemical composition of Pelibuey × Katahdin fed different levels of protein.....	58
6. Treatment effects on organ mass of Pelibuey × Katahdin fed different levels of protein.....	60

## Lista de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Degradación y fermentación de compuestos nitrogenados que llegan a rumen.....	5
2. Utilización del N a nivel ruminal.....	8
3. Formación y destino de la urea en rumiantes.....	9
4. Relación entre la concentración de amoníaco en el rumen y producción de proteína microbiana.....	10
5. Diagrama general del reciclaje de N en rumiantes.....	12



## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el desempeño del crecimiento, la energía de la dieta y las características de la canal en corderos Pelibuey x katahdin alimentados con dietas isocalóricas (2,03 Mcal ENm / kg) con diferentes niveles de proteína, se realizó un estudio con una duración de 84 días en la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), en el área de pequeños rumiantes donde se utilizaron 40 corderos enteros de la raza Pelibuey x katahdin con un peso promedio de 24 kg. Los corderos fueron alojados en 20 corraletas (2 animales/corral/5 réplicas por tratamiento) en 6m<sup>2</sup>, sombra total, bebedero llenado manualmente y comedero en línea, la dieta experimental estuvo constituida por diferentes niveles de proteína los cuales fueron 11, 14,17 y 20% PC donde el primer tratamiento fue control negativo y los demás fueron suplidos por harina de carne de cerdo y harina de canola. Se añadió urea a todas las dietas para asegurar que la proteína degradable en rumen no limitará la fermentación microbiana. Estadísticamente el incremento del nivel de proteína en la dieta mostro un efecto (efecto lineal,  $P = 0.01$ ) 84-d en la ganancia diaria promedio, el consumo de materia seca (efecto lineal,  $P = 0.03$ ) y el aumento de la eficiencia (efecto lineal,  $P < 0.01$ ). La proporción de la energía neta esperada en la dieta aumentó (efecto lineal,  $P \leq 0.02$ ) con el incremento del nivel de proteína durante los 56 días iniciales. Sin embargo, en general el efecto de 84 d no fue apreciable ( $P = 0.17$ ). El peso de la canal caliente, la grasa del corazón del riñón-pélvico y el grosor de la grasa aumentaron (efecto lineal,  $P \leq 0.03$ ) con el nivel de proteína en la dieta. Sin embargo, los efectos de los tratamientos sobre el área de longissimus thoracis, el espesor de la pared, el rendimiento estimado y la composición de la canal no fueron apreciables. Se concluye que durante la fase de crecimiento inicial (primeros 56 días) el aumento del nivel de PC en la dieta hasta el 17% mejorará el rendimiento de crecimiento y la eficiencia de la utilización de energía. A partir de entonces (final de 28 días), el efecto de los niveles de PC dietéticos superiores al 11% en el rendimiento de crecimiento y la utilización de la energía de la dieta no son apreciables.

**Palabras clave:** Finalización, Corderos, Nivel proteico, Energía dietética, canal, Masa visceral.

## ABSTRACT

Forty Pelibuey × Katahdin intact male lambs ( $23.0 \pm 1.8$  kg initial LW) were used in an 84-day feeding trial (5 pens per treatment, randomized complete block design) to evaluate crude protein level (11, 14, 17, and 20%) in isocaloric diets (2.03 Mcal NEm/kg) on finishing-phase growth performance, dietary energetics and carcass traits. Urea was added to all diets to ensure that rumen degradable intake protein did not limit microbial fermentation. Increasing dietary protein level increased (linear effect,  $P = 0.01$ ) 84-d average daily gain, dry matter intake (linear effect,  $P = 0.03$ ), and gain efficiency (linear effect,  $P < 0.01$ ). The ratio of observed: expected dietary net energy increased (linear effect,  $P \leq 0.02$ ) with increasing protein level during initial 56 days. However, overall the 84-d effect was not appreciable ( $P = 0.17$ ). Hot carcass weight, kidney-pelvic-heart fat, and fat thickness increased (linear effect,  $P \leq 0.03$ ) with dietary protein level. However, treatments effects on longissimus thoracis area, wall thickness, estimated yield grade, and carcass composition were not appreciable. It is concluded that during the initial growing phase (first 56 days) increasing dietary CP level up to 17% will enhance growth performance and efficiency of energy utilization. Thereafter (final 28 days), the effect of dietary CP levels greater than 11% on growth-performance and dietary energy utilization are not appreciable.

**Keywords:** Finishing, Lambs, Protein level, Dietary energy, Carcass, Visceral mass

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años la comunidad científica ha revisado las bases y metodologías para la determinación de los requerimientos de proteína en rumiantes, incluyendo en las mismas no solo las necesidades del animal sino también las de los microorganismos ruminales para su mantenimiento y crecimiento. Por otro lado los requerimientos nutricionales deben ser suplidos en una dieta balanceada para satisfacer las necesidades de un animal saludable en un ambiente compatible con su bienestar. Las necesidades del animal están determinadas por su potencial genético.

Aunque los criadores han introducido las razas de ovejas Dorper, Katahdin y Saint Croix en México en los últimos años, las razas de cordero Pelibuey puros y sus cruces (rústicas, prolíficas y adaptables a la amplia variedad de climas mexicanos) siguen siendo el genotipo más representativo. Han hecho una importante contribución a la persistencia de los corderos mexicanos (Partida y Martínez, 2010). En el engorde, los corderos de pelo y sus cruces han mostrado algunas diferencias en la tasa de crecimiento y la composición de la canal con respecto a otras razas (Partida et al., 2009) Tradicionalmente, los corderos Pelibuey y sus cruces en México generalmente comienzan la fase de acabado de 20 a 22 kg de peso corporal en los que se ofrecen, aproximadamente entre 35 y 45 días hasta la cosecha (30-35 kg de peso corporal), una dieta única que contiene Entre 1.78 y 1.95 Mcal / kg de energía neta de mantenimiento y 16% a 18% de proteína cruda (Pineda et al., 1998; Ríos et al., 2011). Sin embargo, en los últimos tiempos el peso de los corderos en la cosecha ha tenido que aumentar alrededor del 30% (de 30-35 a 45-50 kg de peso corporal) para responder a la demanda del mercado. Por lo tanto, la duración de la fase de acabado se ha extendido a 70 d o más y la concentración de energía de la dieta se ha incrementado (~ 2,05 Mcal ENm / kg) con el fin de acortar el número de días de engorde. Se reconoce que el efecto extracalórico del aumento de la ingesta de proteínas metabolizables (MP) es más probable que se manifieste en el ganado de engorda más ligero en la primera fase (es decir, en los primeros 56 d) de la

fase de acabado, pero este efecto desaparece al alargar el acabado (Zinn et al., 2007, Carrasco et al., 2013). Incluso en los corderos de pelo y sus cruces la mayor parte de los estudios demostraron efectos positivos de la suplementación de proteínas en el rendimiento del crecimiento o en la eficiencia de la alimentación (Manso et al., 1998; Haddad et al., 2001).

## **OBJETIVO**

Evaluar el desempeño del crecimiento, la energía de la dieta y las características de la canal en corderos Pelibuey x Katahdin alimentados con dietas isoenergéticas con diferentes niveles de proteína.

## **HIPÓTESIS**

La inclusión de diferentes niveles de proteína en dietas isocalóricas en corderos durante la fase de finalización puede mejorar el comportamiento productivo, las características de la canal y la energética de la dieta.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## Degradación de compuestos nitrogenados en rumen

La proteína es un nutriente esencial en la nutrición de todas las especies animales. En los rumiantes, el objetivo de la nutrición proteica es doble, por una parte satisfacer las necesidades de nitrógeno de los microorganismos ruminales, y por otra, aportar aminoácidos al animal (Rotger, 2004).

De los aportes nitrogenados se deben diferenciar entre las fuentes exógenas procedentes del alimento y las fuentes endógenas aportadas por el propio rumiante. Posterior a ello, es conveniente realizar una segunda clasificación, donde estos compuestos nitrogenados tanto dietarios como endógenos, se dividen en proteicos y no proteicos (NNP). De los aportes dietarios, la proteína es la fracción más importante mientras que el contenido de compuestos no proteicos es minoritario y dependerá del tipo de alimento (Orskov, 1992).

Tanto la proteína endógena como exógena, se puede clasificar en degradable (PDR) y en no degradable (PNDR) (Figura 1). La PDR aportara péptidos, aminoácidos y amoniacó a los microorganismos ruminales, y la PNDR aportara péptidos y aminoácidos directamente al animal. La porción de PDR y PNDR en un alimento dependerá del ritmo de degradación y del tiempo de permanencia en el rumen. Por lo que cada ingrediente aportara un valor único para cada fracción (Rotger, 2004).

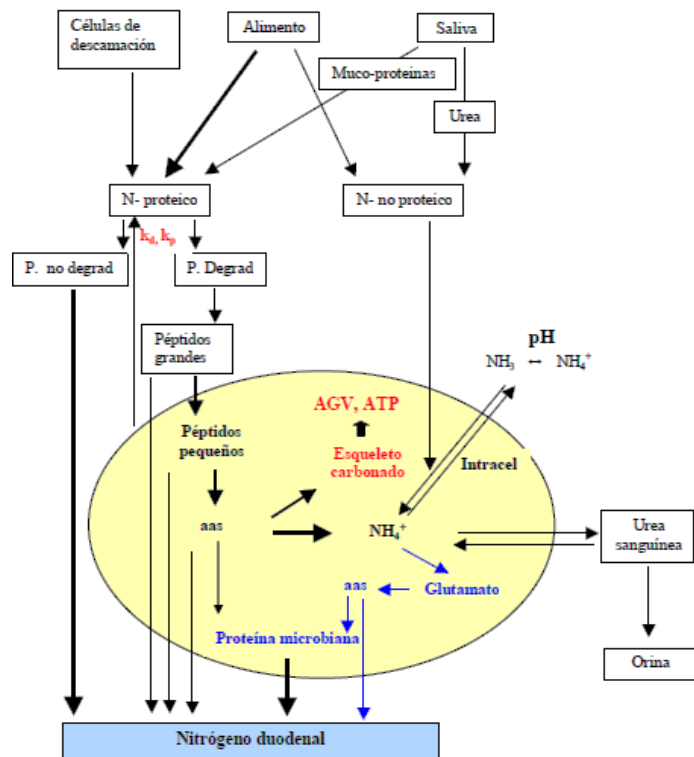


Figura 1. Degradación y fermentación de compuestos nitrogenados que llegan a rumen.

### Cinética Ruminal en la Degradación de Proteína

La hidrólisis ruminal de la proteína cruda del alimento es un factor importante que influye en los procesos integrales de la fermentación ruminal y en el suministro de aminoácidos (AA) para el ganado. La proteína degradable en rumen (PDR) y la proteína no degradable en rumen (PNDR) son dos componentes de la proteína cruda del alimento, y estos dos componentes son separados por sus distintas funciones (NRC, 2001).

Ambas fracciones tiene importancia en el flujo de proteína metabolizable (PM) al duodeno, la cual será posteriormente digerida y absorbida a nivel intestinal. La porción indegradable de la proteína es importante ya que no sufre ninguna transformación durante su paso por el rumen y ésta será digerida y absorbida al fluir a intestino delgado (NRC, 2001). La importancia de esta fracción de la proteína es que proteínas de alto valor biológico (con altas concentraciones de aminoácidos limitantes para el crecimiento como la lisina y metionina) llega intacta al intestino delgado, mientras que la fracción degradable de la proteína es



atacada por los microorganismos ruminales hasta transformarla a nitrógeno amoniacal ( $N-NH_3$ ) el cual es indispensable para la síntesis de proteína microbiana la cual tiene perfil de aminoácidos diferentes a la proteína degradada que la originó, esta proteína microbiana posteriormente será digerida y absorbida a nivel intestinal. En este sentido, se requiere una cantidad mínima de RUP y de RDP en la dieta para un flujo adecuado (en cantidad y calidad) de PM a intestino.

Existen modelos que calculan la degradabilidad de la proteína y la tasa de pasaje de la misma, unos de estos modelos es el sistema Cornell (sistema neto de carbohidratos y proteínas para la evaluación de dietas para ganado de carne, (Sniffen, 1992). En este modelo, la proteína cruda del alimento se divide en fracciones denominadas A, B1, B2, B3 y C. La fracción A, se degrada instantáneamente en el ambiente ruminal (cero sobrepaso), la fracción B1 se degrada parcialmente en el rumen, pequeñas fracciones de esta alcanzan el tracto digestivo intestinal, donde se completa su degradación, la parte no degradable en rumen de la proteína cruda, está conformada entonces por las fracciones B2, B3 y C, esta última fracción atraviesa enteramente el sistema digestivo, sin sufrir transformación alguna.

Los factores principales que afectan la cantidad de proteína cruda proveniente de la ingesta que será degradada en rumen son la solubilidad de las proteínas en el medio ruminal, resultado de las características físico-químicas de las mismas, y el pH ruminal prevaleciente. De tal forma que existen proteínas altamente solubles en rumen como las hordeínas, glutelinas (grano de cebada y trigo), la caseína, entre otras, las cuales son rápidamente degradadas en el medio ruminal mientras que existen proteínas de baja solubilidad como las proteínas de origen animal (proteínas globulares de alto peso molecular) las cuales tienen poca degradación ruminal (proteínas de paso). Los compuestos nitrogenados que llegan al rumen se clasifican en 2 fracciones, la de proteína cruda y la fracción de nitrógeno no proteico (NNP).

## **Proteína Cruda (PC)**

La PC en la ración se divide en dos componentes, uno DIP (proteína degradable ingerida) y UIP (proteína no degradable ingerida), la DIP es la proteína utilizada por los microorganismos para cubrir sus requerimientos proteicos y UPI es la proteína que no se degrada en el rumen, también llamada “bypass” o “proteína de escape”, la cual es degradada por enzimas en intestino o excretada en heces (NRC, 1996).

## **Nitrógeno no proteico (NNP)**

Se considera NNP todo aquel compuesto que contiene nitrógeno pero que no está conformando una molécula de proteína con características físico-químicas definidas. Por lo tanto, compuestos tales como nitratos, nitritos, amidas, aminoácidos, urea, fosfato de amonio, entre otros, se clasifican como nitrógeno no proteico. El NNP es degradado rápidamente en rumen (>300%/h) y se asume que es degradado al 100% (Sniffen et al., 1992).

## **Metabolismo de Nitrógeno en Rumen**

Como se mencionó anteriormente, los rumiantes para llenar sus requerimientos de proteína metabolizable utilizan compuestos nitrogenados del alimento y la proteína sintetizada por los microorganismos ruminales. Para ello estos compuestos, que son degradables en rumen, sufren una serie de transformaciones (Figura 2) para posteriormente ser utilizados, reciclados y una parte excretados, la mayoría de los compuestos nitrogenados provenientes del alimento (proteína y NNP) son extensamente degradados en el rumen por los microorganismos produciendo amoníaco (N-NH<sub>3</sub>), ácidos grasos volátiles (AGV) y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), estos microorganismos son los responsables de las mayores transformaciones de los compuestos nitrogenados de la ración al convertirlos en amoníaco (NRC, 1985).

La proteína degradable en rumen se hidroliza a una porción de péptidos, aminoácidos, amoníaco y estos compuestos a su vez son utilizados principalmente para la síntesis microbiana. Por lo tanto las fuentes de N que participan en la poza de N ruminal lo constituyen: a) Degradación de la proteína de la dieta e hidrólisis del nitrógeno no proteico de la dieta (NNP), b) Degradación del protoplasma microbiano, c) Hidrólisis de la urea en rumen y d) Descamación de las papilas ruminales.



Figura 2. Utilización del N a nivel ruminal.

### Destino de amoníaco en rumen

Aproximadamente el 90 % del nitrógeno total presente en el contenido ruminal, se encuentra en forma insoluble, es decir, el 10 % del nitrógeno total, es principalmente nitrógeno amoniacal (el 70 % por término medio), y el resto es una mezcla de aminoácidos libres y péptidos. El amoníaco se encuentra en una concentración que oscila entre 2 y 50 mg por 100 ml, dependiendo de la ración y del tiempo transcurrido desde la ingesta; la concentración máxima de amoníaco se alcanza generalmente unas dos horas después de la ingesta de los alimentos que aportan proteína (Garris y López, 2002).

El amoníaco formado en el rumen tiene varios posibles destinos entre los cuales se encuentran (Figura 3): a) Consumo destinado a los microorganismos

para síntesis de proteína microbiana, b) absorción y reciclaje a través de la pared ruminal y c) flujo al abomaso y compartimientos posteriores al tracto digestivo (Owens y Bergen, 1983).

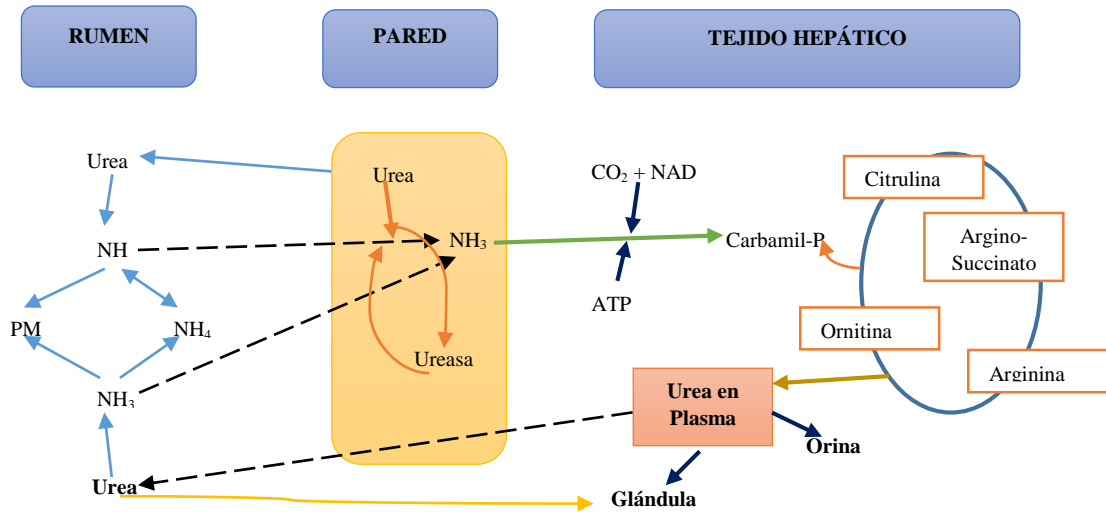


Figura 3. Formación y destino de la urea en rumiantes.

### Síntesis de Proteína Microbiana

La síntesis de proteína microbiana asume mucha importancia en cuanto las necesidades o requerimientos de proteína absorbidos en intestino, ya que las principales fuentes de estos requerimientos son la proteína microbiana y la proteína proveniente de los alimentos (NRC, 1989).

La proteína proveniente de la población microbiana y protozoaria se compone generalmente en un 80% de proteína microbiana y en un 20% de ácidos nucleicos (NRC, 1985).

Un punto importante en la síntesis de proteína microbiana es el suministro de energía necesaria proveniente principalmente de la digestión de los carbohidratos en el rumen, la cual es una fuente necesaria de energía para los microorganismos (Koenig et al., 2003). Al alimentar al ganado con grano entero (tosco) rollado se ha observado que la tasa de fermentación en rumen del almidón se reduce, causando una menor disponibilidad de la energía, por otro lado, una

fermentación rápida y degradación total del almidón produce cambios en el pH ruminal, estos procesos causan una disminución en la síntesis de proteína microbiana y una baja digestibilidad de la fibra (Yang et al., 2002; Koenig et al., 2003).

La síntesis de proteína microbiana es afectada por varios factores, el principal está dado por la concentración de proteína soluble en rumen y la cantidad de materia orgánica (MO) disponible para la fermentación ruminal (Hespell et al., 1979), otros factores como la tasa de pasaje a la cual la digesta fluye a intestino delgado también puede influenciar (Owens y Goetsch, 1986).

La síntesis microbiana óptima ocurre cuando existe una apropiada sincronización entre la proteína digestible en rumen y la MO fermentable en rumen (Figura 4). Dietas deficientes en proteína o N digestible en rumen pueden limitar el crecimiento microbiano (Satter y Slyter, 1974) y el exceso de proteína digestible en rumen es también indeseable por la alta excreción de N en el ambiente (Poss et al., 1979).

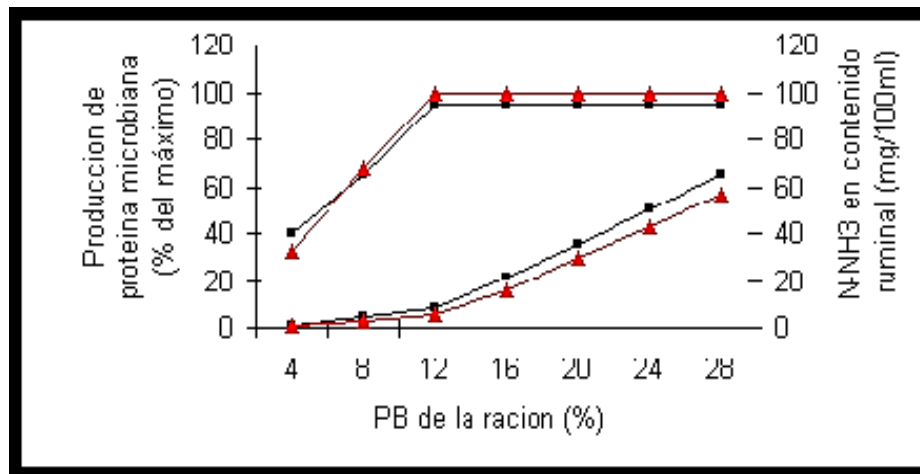


Figura 4. Relación entre la concentración de amoníaco en el rumen y producción de proteína microbiana.

Rohr et al. (1986), asumen que aproximadamente 35 g del nitrógeno microbiano que fluye a intestino delgado es por cada kg de materia orgánica aparentemente digerida. Esto muestra que el consumo de energía es un

indicativo de la cantidad de N que fluye a intestino delgado, es decir, el efecto que tiene sobre la población microbiana es el que reúna los requerimientos de energía de los microorganismos.

### **Absorción y reciclaje de N a través de la pared ruminal**

Cuando en los rumiantes el N producido es menor al del N utilizado o viceversa, ocurre un proceso continuo a través del cual el nitrógeno toma una de las tres vías por las cuales es reciclado. En condiciones normales siempre existe un escape de amoníaco desde el rumen hacia la sangre, llega al hígado a través de la Vena Porta dado que este es un compuesto tóxico, en el hígado es transformado en urea. La urea sintetizada por el hígado pasa a la circulación general de la sangre por la Vena Hepática y por esta vía puede tener varios destinos. Las rutas de reciclaje en los rumiantes son: A) La saliva, en ella contiene 15-40 mg N/100 ml, principalmente en forma de urea, a su vez es la ruta principal si el consumo de PC es > 10%. B) La difusión a través de la pared ruminal, donde la Urea es transformada a  $\text{NH}_3$  por acción de la enzima ureasa de las bacterias adheridas al epitelio ruminal, dándose pues debido al gradiente de concentración siendo esta la ruta principal si el consumo de N es bajo y, C) la tercer vía que puede tomar el nitrógeno es ser eliminado a través de la orina. Cuando el  $\text{NH}_3$  ruminal es alto, el N reciclado es 10% del N consumido, cuando es bajo, llega al 50%. Por lo que también se ve fuertemente afectado por el nivel de energía y la degradabilidad proteica (Figura 5). El N reciclado solamente resulta útil para el rumiante cuando es incorporado en la proteína microbiana. La Urea es degradada en el rumen para liberar amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) el cual es usado por los microorganismos ruminales para producir aminoácidos que dan lugar a la producción de proteína microbiana. Cuando la urea libera  $\text{NH}_3$  más rápido de lo que pudiera ser convertido en proteína microbiana, este es absorbido a través de las paredes del rumen y llevado al hígado por la corriente sanguínea que puede desencadenar en una alcalosis, lo cual es una intoxicación por amoníaco (Van Lier Y Regueiro, 2008).

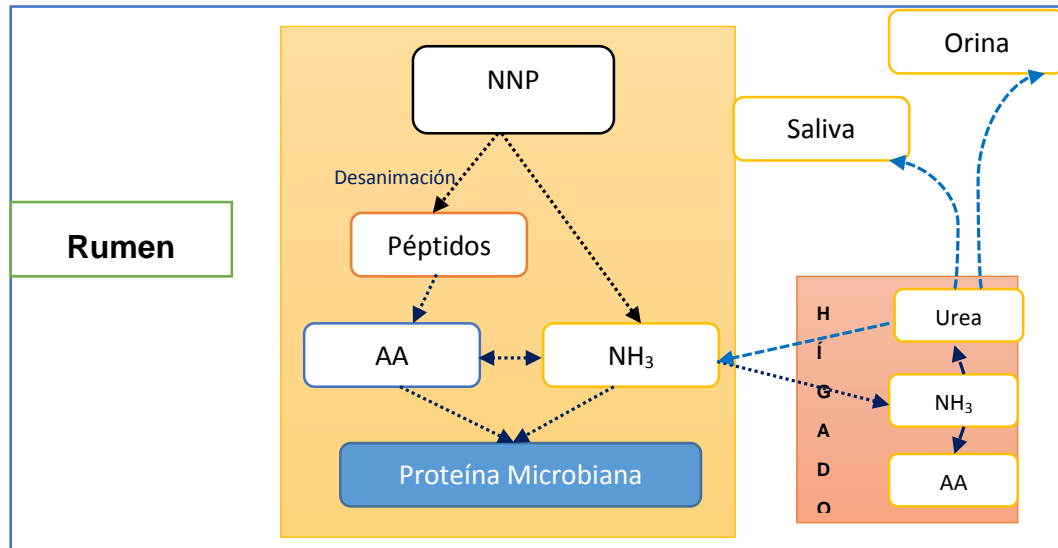


Figura 5. Diagrama general del reciclaje de N en rumiantes

### Flujo de N-NH<sub>3</sub> a tracto posterior

En condiciones normales, la cantidad de N-NH<sub>3</sub> que fluye a duodeno es mínima, este puede llegar a representar del 2 al 5% del total de N que ingresa a duodeno, aunque esta cantidad puede incrementarse en dietas que contengan altas concentraciones de proteína.

### Importancia de la proteína de escape

Durante un periodo de tiempo se ha considerado que la naturaleza de los compuestos nitrogenados ingeridos era de poca importancia para la nutrición de los rumiantes, debido a que estos elementos eran en su totalidad desdoblados en rumen y por último la disponibilidad para el animal era adecuada como proteína microbianas de composición consistente (Annison y Lewis, 1986).

Se han investigado diferentes métodos de procesamiento para reducir la fermentación en rumen y extender la degradación de la proteína de la ingesta, estos métodos por lo general han sido utilizando tratamientos térmicos y utilización de agentes químicos, o la combinación de ambos (Peña et al., 1986; Whitehouse, 1994). Solo que el reto ha consistido en identificar las condiciones

adecuadas durante el procesamiento que puedan llegar a aumentar la digestibilidad de la proteína indegradable en rumen, en medida que se justifique el costo del dicho proceso, los requerimientos de proteína del animal durante el crecimiento, alta producción y reproducción, cambian y no pueden ser llenados solamente por la proteína microbiana, por ello en raciones altas en concentrado requieren un suplemento de proteína degradable en rumen para maximizar la utilización de la energía en el rumen (Satter y Roffle, 1975; Huber y Kung, 1981).

Karges et al. (1992), realizaron estudios en novillos cruzados, con tres niveles de proteína degradable en rumen (.15, .27 y .37 kg/d) y tres niveles de proteína de escape (.07, .14 y .21 kg/d) y un grupo control con suplemento de energía basado en almidón de maíz y melaza. Se observó un incremento en la ganancia de peso ( $P < .01$ ) en los tratamientos adicionados con proteína de escape comparados al grupo testigo, lo que podría indicar que la síntesis de proteína microbiana puede ser insuficiente para satisfacer los requerimientos de proteína metabolizable. Durante estos procesos se busca incrementar las fracciones B al igual que la C, lo que quiere decir, es que se incrementa la fracción de proteína en rumen (Goelema et al., 1999; Prestlokken, 1999; Wang et al., 2000); por otro lado el procesamiento térmico puede provocar grandes pérdidas de aminoácidos en primer lugar y el más importante por ser limitante es lisina, cisteína y arginina (Dale, 1996).

Se ha mostrado que la harina de sangre es la que muestra tener el mayor aporte de proteína de escape (0.92) y la harina de gluten de maíz (0.86), sin embargo la respuesta de la ganancia diaria de peso fue similar con una leve tendencia a incrementarse cuando se ha utilizado harina de sangre la cual es rica en lisina de sobrepaso, el cual es un segundo limitante dentro de los AA (Nimrick et al., 1970). Datos obtenidos en vacas lactando, becerras y ovejas sugieren que el 50% o más proteína cruda de la harina de gluten de maíz y harina de sangre escapan a la degradación en el rumen y pasan intactas al intestino delgado (Clark et al., 1987).



## **Proteína metabolizable**

Los requerimientos de proteína son suministrados tanto para mantenimiento y producción estimada. Los requerimientos para mantenimiento consisten en N urinario endógeno, N de descamación (piel, secreciones de la piel y el pelo), y N metabólico fecal, en cuanto los requerimientos estimados para la producción incluyen las proteínas necesarias para el producto de la concepción, el crecimiento, y la lactancia.

Dentro de los requerimientos de proteína metabolizable (PM) para mantenimiento se asume que la eficiencia de la proteína metabolizable a proteína neta es de 0.67 (NRC, 1989), por otro lado las necesidades de proteína metabolizable para gestación (MPpreg) es necesaria tomarse en cuenta cuando el animal se encuentra dentro de esa condición, estos requerimientos están dados por métodos matemáticos que toman en cuenta el aumento en la deposición en algunos tejidos tales como, feto, placenta, fluidos fetales y uterinos (NRC, 2001), y se asume que la eficiencia de MPpreg es de 0.30, esto fue observado en un estudio de Bell et al. (1995), en el cual utilizaron animales con 190 días de preñez esto porque los requerimientos antes de ese periodo de días es menor, así que el estudio fue durante el día 195-279 de preñez, derivando de este estudio modelos de predicción para MPpreg, al igual para animales en lactancia la eficiencia de la MP de lactancia se asume que es de 0.67, los requerimientos de proteína de lactancia está basada en la cantidad de proteína que es secretada en la leche.

El requerimiento de proteína neta (NP,g/d) es calculado usando la energía retenida (RE), promedio de ganancia diaria de peso (WG) y el equivalente del peso mermado corporal (EQSBW) (NRC, 2001).

## **Utilización de Aminoácidos**

La absorción de aminoácidos son una fuente de utilización para la síntesis microbiana, proteína indegradable ruminal (RUP) y proteína cruda (PC), esto es

esencial para la síntesis destinada a proteína de tejidos y de lactancia, entre otros como precursores y otros procesos nutricionales, como por ejemplo la leucina al ser un precursor de la gluconeogénesis y convertirse a ácidos grasos volátiles o servir como fuente de energía cuando se oxidan a CO<sub>2</sub> (NRC, 2001).

Titgemeyer y Merchen (1990), notaron una tendencia en la disminución de N retenido cuando fue adicionado abomasalmente DL-metionina a los novillos en comparación con L-metionina. Por otro lado Campbell et al. (1996), observaron que al utilizar L-metionina y D-metionina en ganado de engorda mostraron una eficiencia similar en la retención de N durante el crecimiento.

Dentro de los veinte aminoácidos principales existen aminoácidos esenciales, entre los que se incluyen, en primer lugar metionina, lisina, arginina, histidina, isoleucina, leucina, fenilalanina, treonina, triptófano, y valina, estos tipos de aminoácidos son llamados así porque el organismo por sí solo no los puede sintetizar de una manera suficiente para cubrir los requerimientos durante el crecimiento o etapas productivas donde es alta la demanda, por otro lado los AA no esenciales son aquellos que son sintetizados por el organismo y además de ser componentes propios de los alimentos (Heger y Frydrych, 1989).

Dentro de los aminoácidos limitantes principales como metionina por ejemplo puede ser sintetizado a partir de cisteína-cisteína ya que este es un precursor de metionina y aminoácidos de cadena sulfurada, tanto en ganado lechero como en ganado de engorda en crecimiento la metionina se convirtió en el aminoácido esencial más importante en la PM, al infundir metionina y lisina al ganado vía duodeno, se ha observado un efecto positivo en la retención de N, ADG y la proteína en la leche, haciendo pensar que son determinantes de la cantidad de la eficiencia de la proteína microbiana (NRC, 2001).

En estudios realizados se ha observado que la lisina fue determinado uno de los principales aminoácidos limitantes en ganado recién destetado, en crecimiento, y lactación, cuando la dieta fue a base de maíz o subproductos de este mismo al ser el mayor aportador de RUP (Burriss et al., 1976; King et al., 1991; Polan et al., 1991; Schwab et al., 1992). Por el contrario metionina fue

determinado como limitante cuando la dieta fue baja en productos provenientes de maíz, y creciente en forraje y proteína de origen animal o en combinación con harinas de soya (Schwab, 1996; Donahue et al., 1985; Klemesrud et al., 1997; Robert and Mckirdy, 1999).

Veira et al. (1991), utilizaron una dieta con base en cebada y ensilado de alfalfa en animales de 278 kg con acceso ad libitum, adicionando a la dieta 0.5kg/d de aminoácidos protegidos (0.11% de lisina y 0.04% de metionina, como porcentaje de la dieta) observando un aumento en la ganancia diaria de peso ( $P < .05$ ) en un 16.3% y un 15.7% en cuanto la conversión alimenticia, una de las posibles razones por la cual se observaron amplias diferencias pueden deberse a que el ensilado de alfalfa es deficiente en metionina y lisina.

### **Requerimientos de Aminoácidos en becerros en crecimiento**

El término requerimientos se refiere a la cantidad de cada aminoácido que pueda ser suplementado de una fuente externa y que pueda ofrecer la máxima respuesta, sin embargo, la suplementación está influenciada por los niveles de energía de la dieta, estado fisiológico del animal, producción, potencial genético y estrés medioambiental (Mathers, 1979).

Gibb et al. (1992), Mencionan que el principal déficit del aporte de aminoácidos en proteína microbiana se da en aminoácidos de cadena azufrada, por ejemplo lisina y metionina, por ello, el suplementar con aminoácidos es una práctica adecuada ya que ayudara a llenar los requerimientos del animal, ya que el principal déficit se da en aminoácidos de estas características

Establecer los requerimientos proteicos ha sido complicado en rumiantes, esto debido a las particularidades del metabolismo del nitrógeno y también a que la proteína que fluye a intestino delgado difiere de la proporcionada en la dieta (Owens y Bergen, 1983).

Independientemente de eso en animales jóvenes o en etapa de crecimiento los requerimientos de proteína son superiores a los proporcionados por los microorganismos del rumen (Chalupa, 1975).

Hussein y Berger (1995), suplementaron con aminoácidos protegidos ruminalmente (RPLM) a 168 novillos Holstein ( $182.7 \pm 27.5\text{kg}$ ), los cuales fueron asignados a cuatro niveles de RPLM (0, 5, 10 y 15 gr/d) durante 266 días, dividiendo las fases de crecimiento y finalización, observaron que al utilizar un suplemento de aminoácidos protegidos contra la degradación ruminal resulto en un aumento en la ganancia diaria de peso (4.92%) durante los primeros 84d de crecimiento cuando se suplementaron 5 g/d de RPLM, en cuanto el consumo de alimento y la eficiencia alimenticia se muestran similares ( $P > .10$ ) (84d), se ha reportado que la retención de nitrógeno aumenta cuando se suplementaron con metionina y lisina.

Por otro lado en un estudio realizado por Veira et al. (1991), reportaron que al utilizar una dieta en base de cebada y ensilado de alfalfa el suplementar RPLM (0.5kg/d) de los cuales el 0.11% fue lisina y el .04% metionina como porcentaje de la dieta, los novillos aumentaron la ganancia diaria de peso 16.3% y 15.7% ( $P < 0.05$ ) la eficiencia alimenticia en comparación al grupo testigo.

Klopfenstein et al., (2007), opina que probablemente el punto crítico en el uso de animales en crecimiento es el de ser capaces de predecir adecuadamente cuando los requerimientos de proteína metabolizable han sido llenados, así como el porcentaje de proteína que no muestra tener efecto sobre los parámetros productivos de los animales.

En un estudio realizado con novillos Holstein (157kg) durante 98 días utilizando una dieta en base a maíz con un 13.5% de PC Van Amburg et al., (1998), observaron un drástico aumento en la ganancia diaria de peso ( $P < .05$ ) de 19% (1.45 vs 1.73kg/d) cuando utilizo 3 gr de aminoácidos protegidos de la degradación ruminal.

En un estudio realizado por Zinn et al. (2000), en becerros Holstein (122kg), observaron que cuando se utilizó en una dieta a base de maíz hojueado, urea como fuente única de suplemento de nitrógeno, los aminoácidos metabolizables (MAA) que fluyen a intestino delgado resultaron ser limitantes, reflejándose en la ganancia diaria de peso y eficiencia energética. Por otro lado,

Machado et al. (2002), observaron un aumento en la ganancia de peso (6.2%) y (8.3%) en la eficiencia de ganancia fue debido a proveer los requerimientos de MAA que fluyen a intestino durante los primeros 168 d de engorda en becerros Holstein (114 kg) alimentados con una dieta a base de sorgo hojueado. Zinn et al. (2000) y Machado et al. (2002), coinciden que los principales aminoácidos limitantes son metionina y lisina, por ello la importancia de tomar en cuenta el cubrir los requerimientos de estos dos aminoácidos, por ello NRC (2000) establece que 12.96 g/d de metionina y 41.48g/d de lisina serían los necesarios para estos dos aminoácidos limitantes durante la etapa de crecimiento que abarca 1 a 112d de engorda.

### **Aminoácidos protegidos de la degradación ruminal**

En la actualidad se ha discutido sobre la importancia que tiene lisina y metionina como aminoácidos limitantes en las dietas basadas en maíz en ganado bovino de engorda, por ello, uno de los principales retos son los altos requerimientos de aminoácidos de sobre paso al formular la dieta. Es por ello que existen varias técnicas que se han utilizado para llenar estos requerimientos, una de las maneras de utilizar estos aminoácidos no degradados en rumen son cristalizados, pero se ha observado que no es eficiente este método ya que se presenta una gran desanimación en rumen (Onodera, 1993).

En la búsqueda de lograr una mayor eficiencia en la suplementación de metionina y lisina de sobre paso a intestino delgado, NRC (2000), clasifican tres métodos o tecnologías las cuales podrían ser utilizadas en la protección de aminoácidos en rumen las cuales son:

1. Recubrimiento de la superficie con un ácido graso y una mezcla de polímeros pH/sensibles.
2. Recubrimiento de la superficie o envueltos en grasas o ácidos grasos volátiles.

### 3. Fuentes líquidas de análogo de hidroximetionina (DL-hidroxy-4-metilthiobutanoico ácido;HMB).

Según Robert et al. (1997), el método 1 consiste en un mecanismo que es regulado por diferencias en el pH existente en rumen y abomaso, en este proceso no intervienen procesos enzimáticos, los productos resultantes de este método muestran tener un alto coeficiente de resistencia de degradación ruminal y al medir concentración de metionina y lisina en plasma resultan ser altos los niveles en comparación al que no se suministraron estos productos, por ello, esto indica ser un proceso bastante eficiente en cuanto los Aminoácidos que pueden fluir a intestino delgado y ahí ser metabolizados.

Por otro lado Schwab (1996), menciona que el método 2 presenta grandes variaciones al ser evaluado y además de presentar algunas limitantes en el procesamiento de la metionina, esta tecnología se basa en la combinación de procesos y materiales la cual proporciona una capa o recubrimiento que ofrece una protección contra la degradación en rumen.

Por último otra alternativa es la utilización de un análogo de metionina (HMB) (proceso 3), este consiste en ofrecer un recubrimiento o encapsulado al producto. Esta fuente líquida de análogo de metionina se ha utilizado en cerdos y en aves como fuente alterna de metionina, ya que este análogo se convierte mediante procesos enzimáticos en  $\alpha$ -ceto análogo metionina para después sufrir una transaminación y transformarse a L-metionina (Baker, 1994).

Koenig et al. (1999), son los únicos que han realizado estudios utilizando HMB en ganado bovino, utilizando vacas en lactación incorporando a la dieta 30gr de HMB, la cual al ser analizados los datos arrojaron que un 50% del producto escapó de la degradación ruminal.

## **Efecto de diferentes fuentes de proteína en características de la canal**

Diferentes fuentes de proteína afectan las características de la canal y la composición de la carne. Características de la canal incluyen el peso en canal caliente (HCW), peso de la canal fría, porcentaje de tejido adiposo (DP) y el hueso con respecto a la proporción de carne. La relación entre el tamaño y tasa de crecimiento se ve afectado por el contenido de energía de la dieta de acabado. Está bien documentado que la gordura de la canal está influenciada por la densidad energética de la dieta de término de cordero. El crecimiento de los tejidos musculares, la extensión y el sitio de marmoleado en canal afecta el valor y la masa muscular (Mahgoub et al., 2000). La suplementación estratégica puede ser útil para lograr mejor rendimiento de la canal en pequeños rumiantes (Buttery et al., 1984).

## **Efecto de diferentes fuentes de proteína sobre el crecimiento de corderos**

El suministro de proteína en la dieta es vital para el crecimiento de los corderos. La reducción de la ingesta de PC puede afectar el rendimiento del crecimiento (NRC, 1985) y el suministro de dietas con nutrientes densos puede ser una mejor estrategia para alcanzar la máxima tasa de crecimiento (Arthington y Kalmbacher, 2003)

Erasmus et al. (1994), opinan que más cantidad de flujo post-ruminal de aminoácidos glucogénicos y restos lipogénicos da como resultado la mejora de masa muscular.

Ponnampalam et al. (2005), observaron un aumento significativo en la ganancia de peso vivo de los corderos que consumen dietas basadas en forraje suplementadas con CM y SBM como fuente de proteína. Del mismo modo, Braman et al.,(1973), reportaron que los novillos alimentados con suplementos de preformas tenían mayores tasas de ganancia y una mejor eficiencia de utilización del alimento en comparación con novillos alimentados con dietas suplementadas con urea.

Nsahlai et al., (2003), reportaron que los corderos alimentados con dietas a base de FM ganaron más peso que los alimentados con dietas de SFM. Hussein y Jordan (1991) mencionaron que al utilizar FM como fuente de proteínas en la dieta de los rumiantes informaron que el aumento de peso y la eficiencia alimenticia mejoraron cuando la FM se añadió en ensilajes media o de baja calidad en comparación con ensilajes de alta calidad. Contrariamente a esto, Mandell et al. (1997) no observaron ninguna diferencia en la ganancia de peso en el ganado vacuno alimentados FM como fuente de proteínas.

La pasta de canola es relativamente rica en vitaminas y minerales y es alta en aminoácidos que contienen azufre (metionina y cistina) que pueden haber dado lugar a un mejor rendimiento de crecimiento en corderos (Khan et al., 2000).

### **Efecto de las fuentes de proteínas de la dieta en el rendimiento de corderos**

Las proteínas son nutrientes caros, pero son esenciales para el crecimiento de los animales (Dabiri y Thonney, 2004). Diferentes fuentes de proteínas tienen un efecto sobre el rendimiento de los rumiantes y su bioquímica sérica variable (Jørgensen et al., 1992). Esta variada respuesta en el rendimiento puede ser debido al cambio en el rumen y sus perfiles de aminoácidos diferentes que dan como resultado la alteración del metabolismo de los nutrientes. Diferentes fuentes de proteína en las dietas de cordero como CM (pasta de canola), CSM (Harinolina), CGM (gluten de maíz) y SBM (pasta de soya) tienen diferentes perfiles de nutrientes especialmente aminoácidos y ácidos grasos. Estas fuentes de proteínas proporcionan los nutrientes condensados que pueden ser utilizados de manera eficiente a nivel ruminal. La calidad de proteína de alto valor de escape y el perfil de aminoácidos eficiente en las dietas puede dar como resultado un mejor crecimiento de los corderos. Por otro lado Agbossamey, (1995), menciona que la pasta de canola tiene un mejor perfil de aminoácidos con un alto contenido de lisina que lo hace valioso para lograr los mejores tasas de crecimiento en los rumiantes

La proteína microbiana por sí sola no puede satisfacer las exigencias más altas de proteínas en los rumiantes en crecimiento (Chalupa, 1975) y este déficit



puede ser aliviado por la inclusión de una buena fuente de proteína de calidad que pueden resistir la degradación ruminal.

## LITERATURA CITADA

- Agbossamey, Y. 1995. Effects of supplementation of hay silage with oil cake of canola or fish meal on the value of basal ration of lambs. *Memory of Workmanship, Universite laval, Quebec, Canada.*
- Annison, E.F. y Lewis. M.A. 1986. El metabolismo en el rumen. Ed. UTEHA. México, D.F.
- Arthington, J. D., and R. S. Kalmbacher. 2003. Effect of early weaning on the performance of three-year-old, first-calf beef heifers and calves reared in the subtropics<sup>12</sup>. *Journal of Animal Science* 81:1136-1141. doi:10.2527/2003.81511136x.
- Baker, D. H. 1994. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. *Journal of Nutrition*, 116: 2339-2349.
- Braman, W. L., E. E. Hatfield, F. N. Owens, and J. M. Lewis. 1973. Protein Concentration and Sources for Finishing Ruminants Fed High-Concentrate Diets. *J. Anim. Sci.* 36:782-787.
- Bell, A.W., Slepatis R, Ehrhardt RA 1995. Growth and Accretion of Energy and Protein in the Gravid Uterus During Late Pregnancy in Holstein Cows. *J Dairy Sci* 78:1954-1961.
- Burriss, W. R., J. A. Boling, N. W. Bradley, and A. W. Young. 1976. Abomasal Lysine Infusion in Steers Fed a Urea Supplemented Diet<sup>1</sup>. *J. Anim. Sci.* 42:699-705.
- Buttery, P. J., Sinnott-Smith, P. A. (1984). The mode of action of anabolic agents with special reference to their effects on protein metabolism-some speculations. In: J. F. Roche and D. O'Callaghan (Ed.) *Manipulation of Growth in Farm Animals*. pp. 228. Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands.

- Campbell, J. R., Greenough, P. R., Petrie, L. (1996). The effects of a dietary biotin supplementation on vertical fissures of the claw wall in beef cattle. *Canadian Veterinary Journal*, 41: 690-694.
- Carrasco, R., Arrizon, A.A., Plascencia, A., Torrentera, N.G., Zinn, R.A., 2013. Comparative feeding value of distillers dried grains plus solubles as a partial replacement for steam flaked corn in diets for calf-fed Holstein steers: characteristics of digestion, growth performance, and dietary energetic. *J. Anim. Sci.* 91, 1801-1810.
- Chalupa W. 1975. Rumen bypass and protection of proteins and amino acids. *J. Dairy Sci.* 58:1198-1218.
- Clark, J. H., M. R. Murphy and B. A. Crooker. 1987. symposium: Alternate Feed sources for dairy cattle from By-product feeds, *J. Dairy Sei.* 70:1092.
- Dabiri, N., y Thonney, M. L. 2004. Source and level of supplemental protein for growing lambs. *Journal of Animal Science.* 82:3237-3244.
- Dale. 1996. *Anim. Feed Sci. Technol.* 59:129-135. Jounay and Ushida. 1999. *AJAS.* 12:113-128. Nakamura, 1994. *J. Anim. Sci.* 72:774-782.
- Donahue, R.L., R.W. Millar y J.C. Shickluna. 1985. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Prentice Hall. Madrid, España.
- Erasmus, L.J.; Botha, P.M.; Meissner, H.H. 1994. Effect of protein source on ruminal fermentation and passage of amino acids to the small intestine of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, v.77, n.12, p.3655-3665.
- Garriz, M., López, A. 2002. Monografía final del curso Nutrición en la Intensificación. Cátedra de Nutrición y Alimentación Animal de la Facultad de Veterinaria de la Univ. De Bs. As.
- Gibb, D. j., T.J. Klopfenstein and H. H. Sindt. 1992. Combinations of Rendered Protein Heals for Growing Calves. *J. Anim. Sci.* 70:2581.
- Goelema, J. O. ; Smits, A. ; Vaessen, L. M. ; Wemmers, A., 1999. Effects of pressure toasting, expander treatment and pelleting on *in vitro* and *in situ*

- parameters of protein and starch in a mixture of broken peas, lupins and faba beans. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 78 (1-2): 109-126.
- Haddad, S.G., Nasr, R.E., Muwalla, M.M., 2001. Optimum dietary crude protein level for finishing Awassi lambs. *Small Rum. Res.* 39, 41-46.
- Hall, M.B, Huntington G.B. 2008. Nutrient synchrony: Sound in theory, elusive in practice. *Journal of Animal Science*, 86: E287–E292.
- Heger, J. and Frydrych, Z. 1989. *British Journal of Nutrition*, 54, 499-508.
- Huber, J.T. and L. Rung, Jr. 1981. Protein and no protein nitrogen utilization in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 64:1170.
- Hussein, H.S. y Jordan, R.M. 1991. Fish meal as a protein supplement in finishing lamb diets. *J. Anim. Sci.* 69, 2147.
- Hussein, H. S., and L. L. Berger. 1995. Feedlot performance and carcass characteristics of Holstein steers as affected by source of dietary protein and level of ruminally protected lysine and methionine. *Journal of animal science* 73:3503-3509.
- Hespell, R.B. y M.P. Bryant. 1979. Efficiency of rumen microbial growth: influence of some theoretical and experimental factors on YATP. *J. Anim. Sci.*, 49:1640-1659.
- Jørgensen G. and Szymeczko R. 1992. Utilization of fish silage in animal nutrition. National Institute of Animal Science. Denmark, p.1-20.
- Kahn, L.P.; Kyrizakis, I.; Jackson, F. & Coop, R.L. 2000. Temporal effects of protein nutrition on the growth and immunity of lambs infected with *Trichostrongylus colubriformis*. *International Journal for Parasitology* 30: 193-205.
- Karges, K.K., T.J. Klopfenstein, V .A. Wilkerson and D. C. Clanton. 1992. Effects of ruminally degradable and escape protein supplements on steer grazing summer native range. *J. Anim. sci.* 70:1957.

- King, K. R., C. R. Stockdale, and T. E. Trigg. 1991. Influence of high energy supplements containing fatty acids on the productivity of pasture-fed dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric.* 30:11-16.
- Klemesrud M.J., Klopfenstein T.J. and Lewis A.J. 1997. Use of protected amino acids. *Journal of Animal Science* 75, 3301-3306.
- Klopfenstein, T. J., Erickson, G. E., Bremer, V. R. (2007). Feeding corn milling byproducts to feedlot cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23: 223-245.
- Koenig, K.M., K.A. Beauchemin, and L.M. Rode. 2003. Effect of grain processing and silage on microbial protein synthesis and nutrient digestibility in beef cattle fed barley-based diets. *J. Anim. Sci.* 81:1057-1067.
- Koenig, K.M., Rode, L.M., Knight, C.D., Mccullough, P.R., Andrews, K.A. y Kung, L. Jr. 1999. *J. Anim. Sci.* 74 (Suppl. 1): 345 (Abstr.)
- Machado CF, Berger H, Morris ST, Hodgson J, Copes M, Duhalde J (2002). Feed value of grain and forage of sorghum in the diets of cattle for the production of meat *Revista Argentina De Producción Animal* 23, 73–74.
- Mahgoub O., C. D. Lu and R. J. Early. 2000. Effects of dietary energy density on feed intake, body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs. *Small Ruminant Research.* 37: 35-42.
- Mandell, I.B.; Gullett, E.A.; Wilton, J.W. 1997. Effects of gender and breed on carcass traits, chemical composition and palatability attributes in Hereford and Simmental bulls and steers. *Livestock Production Science*, v.49, p.235-248.
- Manso, T. Mantecòn, A.R., Giraldez, F.J., Lavin, P., Castro, T., 1998. Animal performance and chemical body composition of lambs fed diets with different protein supplements. *Small Rum. Res.* 29, 185-191.
- Mathers, J.C. y Aitchinson, E.M. (1981) *J. Agric. Sci. Cambridge* 96: 691-693.

- Mathers J.C. 1979. Direct estimation of the extent of contamination of food residues by microbial matter after incubation within synthetic fibre bags in the rumen. *J Agric Sci (Camb)*;96:691.
- Nimrick, K., E. E. Hatfield, J. Kaminski, and F. N. Owens. 1970. Qualitative assessment of supplemental amino acid needs for growing lambs fed urea as the sole nitrogen source. *J. Nutr.* 100:1293-1300.
- N.R.C. 1985. Ruminant Nitrogen usage. National Academy Press. Washington, D.C.
- N.R.C. 1989. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 6th. rev. ed. National Academy Press. Washington, D.C.
- N.R.C. 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7th Rev. Ed). National Academy of Press. Washington D.C.
- NRC, 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC, pp. 248.
- N.R.C. 2001. Nutrient Requirements of Beef cattle. 6th ed. National Academy Press. Washington, D.C.
- Nsahlai, I.V; Ngwa, A.T.; Iji, P.A. 2003. Effect of feeding legume pods or alfalfa in combination with poor quality grass straw on microbial enzyme activity and production of VFA in the rumen os South African Merino sheep. *Small Ruminants Research*, v.48, p.83-94.
- Onodera, R. 1993. Methionine and lysine metabolism in the rumen and the possible effects of their metabolites on the nutrition and physiology of ruminants. *Amino acids* 5: 217-232.
- Orskov, E.R. 1992. Protein Nutrition in Ruminants (2nd Edition). Academic Press, San Diego, CA.
- Owens, P.N. and w.G. Bergen. 1983. Nitrogen metabolism of ruminant animals: historical perspective, current understanding and future implications. *J. anim. Sci.* 57:498.

- Owens, F.N. y Goetsh, A.L. 1986. Control of Digestion and Metabolism in Ruminants. L.P. Milligan, W.L. Grovum y A. Dobson (eds). Prentice Hall, New Jersey. pp: 196.
- Partida de la Peña, J., & Braña Varela, D., & Martínez Rojas, L. 2009. Desempeño productivo y propiedades de la canal en ovinos Pelibuey y sus cruzas con Suffolk o Dorset. *Técnica Pecuaria en México*, 47 (3), 313-322.
- Partida, P.J.A., Martínez, L.R., 2010. Body composition in Pelibuey lambs in terms of feed energy concentration and slaughter weight. *Rev. Vet. Mex.* 41,177190.
- Pineda, J., Palma, J.M., Haenlein, G.F.W., Galina, M.A., 1998. Fattening of Pelibuey hair sheep and crossbreds (Rambouillet-DorsetxPelibuey) in the Mexican tropics. *Small Rumin. Res.* 27, 263-266.
- Peña, G., Pereyra, C., Armando, M., Chiacchiera, S., Magnoli, C., Orlando, J., Dalcerro, A., Rosa, C. & Cavaglieri, L. 1986. *Aspergillus fumigatus* toxicity and gliotoxin levels in feedstuff for domestic animals. *Letters in Applied Microbiology.* 50 (1): 77–81. doi: 10.1111/j.1472-765X.2009.02756.x.
- Polan, C. E., K. A. Cummins, C. J. Sniffen, T. V. Muscato, J. L. Vincini, B. A. Crooker, J. H. Clark, D. G. Johnson, D. E. Otterby, B. Guillaume, L. D. Muller, G. A. Varga, R. A. Murray, and S. B. Pierce-Sandner. 1991. Responses of dairy cows to supplemental rumen-protected forms of methionine and lysine. *J. Dairy Sci.* 74:2997-3013.
- Ponnampalam. E.N., A.J. Sinclair, A.R. Egan, S.J. Blakeley and B.J. Leury. 2005. Effect of diets containing n-3 fatty acids on muscle long-chain n-3 fatty acid content in lambs fed low- and medium-quality roughage diets. *J Anim. Sci.*, 79: 698-706.
- Poss, M. I., Hanson, T. L., Klopfenstein, T. J. (1979). Monensin effects on diet digestibility, ruminal protein bypass and microbial protein synthesis. *Journal of Animal Science*, 48: 1516-1524.

- Prestlokken, E., 1999. In situ ruminal degradation and intestinal digestibility of dry matter and protein in expanded feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology* 77,1-23.
- Ríos, F.G., Gómez-Vázquez, A., Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J.C., Estrada-Angulo, A., Hernández-Bautista, J., Portillo, J.J., 2011. Effect of breed on performance and carcass characteristics of Mexican hair sheep. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 41, 275-279.
- Robert, J. C. Williams, P.E. Sousa, B. 1997. Influence of source of methionine and protection technology on the post ruminal delivery and supply to the blood of dairy cows of an oral supplement of methionine. *J. Dairy Sci* 80:248.
- Robert, W. K, McKirdy, J. A 1999. Weight gains, carcass fat characteristics and ration digestibility in steers as affected by dietary rapeseed oil, sunflowerseed oil, and animal tallow. *J. Anim. Sci.* 63: 682-687.
- Rohr, M., Kubicek, C. P. & Kominek, 1. (1986). Production of organic acids and other small molecules. In *Aspergillus: Biology and Industrial Applications*, pp. 91-131. Edited by J. W. Bennett & M. A. Klich. Stoneham : Butterworth-Heinemann.
- Rotger, C. A., 2004. Fermentación Ruminal, Degradación Proteica y Sincronización Energía-Proteína en Terneras en Cebo Intensivo. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Ciencia Animal y Alimentos. Facultad de Veterinarias.
- Satter, L.D., and R.E. Roffle. 1975. Nitrogen requirement and utilization in dairy cattle. *J. Dairy. sci.* 58:1219.
- Satter, L. D., Slyter, L. L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein *in vitro*. *British Journal of Nutrition*, 32: 199-208.



- Schwab, C.G., Bozak, C.K., Whitehouse, N.L., Mesbah, M.M.A. 1992. Amino acid limitation and flow to duodenum at four stages of lactation. 1. Sequence of lysine and methionine limitation. *J. Dairy Sci.* 75:3486–3502.
- Schwab, C.G. 1996. Rumen- protected amino acids for dairy cattle: progress towards determining lysine and methionine requirements. *Anim. Fedd. Sci. Technol.* 59:81-101.
- Sniffen, C.J., O'Connor, D.J., Van Soest, P.J., Fox, D.G., Russell, J.B., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70, 3562–3577.
- Sniffen, C.J. 1992 Nitrogen utilization as related to solubility of NPN and protein in feeds. in: *Proc. Cornell Nutr. Conf.*; 1974:12.
- Titgemeyer, N.R., R. Merchen and L.L. Berger. 1990. Evaluation of soybean meal, corn gluten meal and fish meal as sources of nitrogen and amino acids disappearing from the small intestine of steers. *J. Anim. sci.* 67:262.
- Van Amburgh, M.E., Fox, D.G., Galton, D.M., Bauman, D.E., Chase, L.E., 1998. Evaluation of National Research Council and Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems for predicting requirements of Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 81, 509–526.
- Van Lier, E. Y Regueiro, M. 2008. Digestión en retículo-rumen. Departamento de producción animal y pasturas curso de anatomía y fisiología animal. Facultad de agronomía universidad de la república, Montevideo Uruguay.
- Veira, D.M., Seoane, J. R. and Proulx, J. G. 1991. Utilization of grass silage by growing cattle. Effect of a supplement containing ruminally protected amino acids. *J. Anim. Sci.* 69:4703-4709.
- Wang, Y., McAllister, T.A., Yanke, L.J., Yu, Z.J., Cheeke, P.R. & Cheng, K.J. 2000. In vitro effects of steroidal saponins from *Yucca schidigera* extract on rumen microbial protein synthesis and ruminal fermentation. *J. Sci. Food Agric.* 80:2114.

- Whitehouse, N.L., V.M. Olson, C.G. Schwab, W.R. Chesbro, K.D. Cunningham y T. Lykos. 1994. Improved techniques for dissociating particle-associated mixed ruminal microorganisms from ruminal digesta solids. *J. Anim. Sci.*, 72:1336-1343.
- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A. & Rode, L.M. 2002. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on site and extent of digestion. *J. Dairy Sci.* 85:1958.
- Zinn, R. A., Alvarez, E. G., Montano, M. F., Ramirez, J. E. (2000). Interaction of protein nutrition and laidlomycin on feedlot growth performance and digestive function in Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 86: 2680-2689.
- Zinn, R.A., Calderon, J.F., Corona, L., Plascencia, A., Montaño, F., Torrentera, N., 2007. Phase feeding strategies to meet metabolizable amino acid requirements of calf-fed Holstein steers. *Prof. Anim. Sci.* 23, 333-339.

**Influence of protein level on growth performance, dietary energetics  
and carcass characteristics of Pelibuey × Katahdin lambs finished with  
isocaloric diets**

A. Estrada-Angulo<sup>1</sup>, B. I. Castro-Pérez<sup>1</sup>, J. D. Urías-Estrada<sup>1</sup>, F. G. Ríos-Rincón<sup>1</sup>, Y. J. Arteaga-Wences<sup>2</sup>, A. Barreras<sup>2</sup>, M. A. López-Soto<sup>2</sup>, A. Plascencia<sup>2</sup><sup>†</sup>, and R. A. Zinn<sup>3</sup><sup>†</sup>

<sup>1</sup>*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. San Ángel s/n; Fraccionamiento San Benito 80246, Culiacán, Sinaloa, México.*

<sup>2</sup>*Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California. Km 4.5 carretera Mexicali-San Felipe, CP 21386, Mexicali, Baja California, México.*

<sup>3</sup>*Department of Animal Science, University of California, Davis, 95616.*

---

<sup>†</sup>Corresponding author: Alejandro Plascencia, Instituto de investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, México. [Tel:+52 \(686\) 5636906](tel:+52(686)5636906) ext 111, Fax:+52(686)5636907. E-mail: [alejandro.plascencia@uabc.edu.mx](mailto:alejandro.plascencia@uabc.edu.mx)

<sup>†</sup>Corresponding author: Richard A. Zinn, Department of Animal Science, University of California, Davis. Tel. +1 (760) 3563068, Fax: +1 (760) 3563060. Email: [razinn@ucdavis.edu](mailto:razinn@ucdavis.edu)

## **ABSTRACT**

Forty Pelibuey × Katahdin intact male lambs ( $23.0 \pm 1.8$  kg initial LW) were used in an 84-day feeding trial (5 pens per treatment, randomized complete block design) to evaluate crude protein level (11, 14, 17, and 20%) in isocaloric diets (2.03 Mcal NE<sub>m</sub>/kg) on finishing-phase growth performance, dietary energetics and carcass traits. Urea was added to all diets to ensure that rumen degradable intake protein did not limit microbial fermentation. Increasing dietary protein level increased (linear effect,  $P = 0.01$ ) 84-d average daily gain, dry matter intake (linear effect,  $P = 0.03$ ), and gain efficiency (linear effect,  $P < 0.01$ ). The ratio of observed: expected dietary net energy increased (linear effect,  $P \leq 0.02$ ) with increasing protein level during initial 56 days. However, overall the 84-d effect was not appreciable ( $P = 0.17$ ). Hot carcass weight, kidney-pelvic-heart fat, and fat thickness increased (linear effect,  $P \leq 0.03$ ) with dietary protein level. However, treatments effects on *longissimus thoracis* area, wall thickness, estimated yield grade, and carcass composition were not appreciable. It is concluded that during the initial growing phase (first 56 days) increasing dietary CP level up to 17% will enhance growth performance and efficiency of energy utilization. Thereafter (final 28 days), the effect of dietary CP levels greater than 11% on growth-performance and dietary energy utilization are not appreciable.

*Keywords:* Finishing, Lambs, Protein level, Dietary energy, Carcass, Visceral mass

### **1. Introduction**

Dorper, Katahdin and Saint Croix sheep breeds were introduced into México in recent years. However, due to their prolific nature and adaptability to a wide variety of climatic conditions, the Pelibuey breed (Cubano Rojo) and their crosses continue to be the

most representative genotype (Partida and Martínez, 2010). Traditionally, Pelibuey lambs and their crosses were placed on growing-finishing diets at initial body weights (BW) of 20 to 25 kg, and harvested at final BW of 30 to 35 kg. The growing-finishing diets fed typically contained between 1.78 and 1.95 Mcal/kg of net energy for maintenance (NE<sub>m</sub>), and 16% to 18% of crude protein (Pineda et al., 1998; Ríos et al., 2011). During the relatively brief growing-finishing period (35 to 45 days) these high dietary CP levels were needed to support of optimal growth performance (Manso et al., 1998; Haddad et al., 2001; Zundt et al., 2002). More recently, however, market demands have pushed for a heavier target harvest weights (45-50 kg), resulting in a greater degree of finish and extending the growing-finishing period to > 70 days. In feedlot cattle, the extra-caloric effect of increased metabolizable protein (MP) intake is more likely to be manifest during the initial part of the growing-finishing period (Zinn et al., 2007; Carrasco et al., 2013). Very little information is available in the literature regarding to the influence of the protein level on overall growth performance of lambs over the more extended growing finishing phase. The objective of this experiment was to evaluate the growth performance, dietary energetics, carcass characteristics, and visceral mass in lambs fed isocaloric diets with different protein level during an 84-d growing-finishing period.

## **2. Materials and methods**

### *2.1 Diets, animals and experimental design*

This experiment was conducted at the Universidad Autónoma de Sinaloa Feedlot Lamb Research Unit, located in the Culiacán, México (24° 46' 13" N and 107° 21' 14" W). Culiacán is about 55 m above sea level, and has a tropical climate. All animal management procedures were conducted within the guidelines of locally-approved techniques for

animal use and care: NOM-051-ZOO-1995: Humanitarian care of animals during mobilization of animals; NOM-062-ZOO-1995: Technical specifications for the care and use of laboratory animals. Livestock farms, farms, centers of production, reproduction and breeding, zoos and exhibition halls, must meet the basic principles of animal welfare; NOM-024-ZOO-1995: Animal health stipulations and characteristics during transportation of animals, and NOM-033-ZOO-1995: Humanitarian care and animal protection during slaughter process.

Forty Pelibuey × Katahdin ( $23.04 \pm 1.80$  kg) crossbred intact male lambs were used in a growth-performance experiment to evaluate the effects of protein level on growth performance, dietary energetics, carcass traits, and visceral organ mass. Four weeks before the experiment started, lambs were treated for endoparasites (Albendaphorte 10%, Animal Health and Welfare, México City, México), and injected with  $1 \times 10^6$  IU vitamin A (Synt-ADE®, Fort Dodge, Animal Health, México). Upon initiation of the experiment, lambs were weighed individually before the morning meal (electronic scale; TORREY TIL/S: 107 2691, TOR REY electronics Inc, Houston TX, USA), grouped by weight into five uniform weight groups, and assigned within weight groups to 5-pen blocks (two lambs per pen). The 20 pens used in the experiment were 6 m<sup>2</sup> with overhead shade, automatic waterers and 1 m fence-line feed bunks. Lambs were adapted to the assigned treatment 14-d before the start of experiment (Table 1). Dietary treatments consisted of a cracked corn-based diets which were formulated to be isocaloric (2.07 Mcal NE<sub>m</sub>/kg). The energy concentration of diet was manipulated by addition of tallow while protein level was mainly adjusted replacing cracked corn grain with combinations of urea, canola meal and rendered pork meat meal to reach CP concentrations of 110 (CP11), 140 (CP14), 170

(CP17), and 200 g CP/kg of diet DM (CP20), respectively. In the case of the CP11 treatment, urea was the sole source of supplemental N. Urea was added in all diets to ensure that DIP in diet not limit microbial efficiency, and hence optimal ruminal fermentation (Zinn and Shen, 1998). The average of estimated ruminal undegradable intake protein in experimental diets averaged  $38 \pm 0.46\%$ . Corn was prepared by passing whole regional white corn through rollers ( $46 \times 61$ cm rolls, 5.5 corrugations/cm; Memco, Mills Rolls, Mill Engineering & Machinery Co., Oklahoma, CA). Roll pressure was adjusted so that the kernels were broken to produce a bulk density of approximately 0.50 kg/L. The canola meal used was a standard quality US canola meal obtained by solvent extraction (Industrial de Oleaginosas, Guadalajara, Jalisco, México). The rendered strictly pork meat meal was obtained from El Kowi Enterprise (Hermosillo, Sonora, México). The forage source (wheat straw) was ground in a hammer mill (Bear Cat #1A-S, Westerns Land and Roller Co., Hastings, NE) with a 3.81cm screen, before incorporation into complete mixed diets. Dietary treatments were randomly assigned to pens within blocks, resulting in 5 pens replicates per treatment. The experiment lasted 84 days. Lambs were allowed *ad libitum* access to dietary treatments. Daily feed allotments to each pen were adjusted to allow minimal (< 5% of total offered) residual feed remaining in feed bunk just prior to the morning feeding. The amount of feed offered and residuals were weighed daily. Lambs were provided fresh feed twice daily at 0800 and 1400 h in a 40:60 proportion (as feed basis). Feed bunks were visually assessed between 0740 and 0750 h each morning, refusals were collected and weighed and feed intake was determined. Adjustments, to either increase or decrease daily feed delivery, were provided at the afternoon feeding. Lambs were individually weighed at the beginning of the trial and 28-d intervals thereafter. The initial and interim shrunk body weight (SBW) was determined

as full BW $\times$ 0.96 (adjustment for gastrointestinal fill; Cannas et al., 2004). Upon completion of the study, all lambs were weighed following an 18 h fast (food but not drinking water was withdrawn) to obtain final SBW.

## 2.2 Sample analysis

Corn, canola meal, pork meat meal, and urea were subjected to the following analyses: DM (oven drying at 105°C until no further weight loss; method 930.15; AOAC, 2000), and CP (N $\times$  6.25, method 984.13; AOAC, 2000). While the complete diets were subjected to the following analyses: DM (oven drying at 105°C until no further weight loss; method 930.15; AOAC, 2000); CP (N $\times$  6.25, method 984.13; AOAC, 2000); ash (method 942.05; AOAC, 2000); NDF [Van Soest et al., 1991, corrected for NDF-ash, incorporating heat stable  $\alpha$ -amylase (Ankom Technology, Macedon, NY) at 1mL per 100mL of NDF solution (Midland Scientific, Omaha, NE)], and ether extract (method 920.39; AOAC, 2000). Feed and refusal samples were collected daily for DM analysis (oven-drying at 105°C until constant weight, method 930.15; AOAC, 2000).

## 2.3 Calculations

Average daily gain (ADG) was determined as the difference in SBW divided by the corresponding days on feed. Gain efficiency was determined as the ADG divided by corresponding dry matter intake (DMI). The estimation of expected DMI was performed based on observed ADG and average SBW according to the following equation: expected DMI, kg/d = (EM/NE<sub>m</sub>) + (EG/NE<sub>g</sub>), where EM (energy required for maintenance, Mcal/d) = 0.056 $\times$ SBW<sup>0.75</sup> (NRC, 1985a), EG (energy gain, Mcal/d) = 0.276 $\times$  ADG $\times$  SBW<sup>0.75</sup> (NRC, 1985a), NE<sub>m</sub> and NE<sub>g</sub> are 2.07 and 1.40 Mcal/kg, respectively (derived from tabular values based on the ingredient composition of the experimental diet; NRC,



1985a). The coefficient (0.276) was estimated assuming a mature weight of 113 kg for Pelibuey × Kathdin male lambs (Canton and Quintal, 2007). Dietary NE was estimated by means of the quadratic formula:  $x = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2c$ , where  $x = NE_m$ ,  $a = -0.41EM$ ,  $b = 0.877 EM + 0.41 DMI + EG$ , and  $c = -0.877 DMI$  (Zinn et al., 2008).

#### 2.4 Carcass and visceral mass data

All lambs were harvested on the same day. After humanitarian sacrifice, lambs were skinned, and the gastrointestinal organs were separated and weighed. After carcasses (with kidneys and internal fat included) were chilled in a cooler at -2 °C to 1 °C for 48 h, the following measurements were obtained: 1) body wall thickness (distance between the 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> ribs beyond the ribeye, five inches from the midline of the carcass); 2) fat thickness perpendicular to the *m. longissimus thoracis* (LM), measured over the center of the ribeye between the 12th and 13th rib; 3) LM surface area, measure using a grid reading of the cross sectional area of the ribeye between 12th and 13th rib, and 4) kidney, pelvic and heart fat (KPH). The KPH was removed manually from the carcass, and then weighed and reported as a percentage of the cold carcass weight (USDA, 1982). Each carcass was split along the vertebrae into two halves. The carcass composition was assessed using physical dissection by the procedure described by Luaces et al. (2008).

All tissue weights were reported on a fresh tissue basis. Previous data suggests that there is very little variation among fresh and dry weights for visceral organs (Neville et al., 2008). Organ mass was expressed as kg, and as g/kg final empty BW. Final EBW represents the final SBW minus the total digesta weight. Full visceral mass was calculated by the summation of all visceral components (stomach complex + small intestine + large

intestine + liver + lungs + heart), including digesta. The stomach complex was calculated as the digesta-free sum of the weights of the rumen, reticulum, omasum and abomasum.

### *2.5 Statistical analysis*

Performance (gain, gain efficiency, and dietary energetics) and carcass data were analyzed as a randomized complete block design, with pen as the experimental unit. The MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) was used to analyze the variables. Carcass composition and visceral organ mass data were analyzed as a randomized complete block design with subsampling (Hinkelmann and Kempthorne, 2008), with pen as the experimental unit and animal as the observational unit. The MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) was utilized to analyze the data. Treatment effects were tested for linear, quadratic and cubic components of the CP level. Contrasts were considered significant when the  $P$ -value was  $\leq 0.05$ , and tendencies were identified when the  $P$ -value was  $> 0.05$  and  $\leq 0.10$ .

## **3. Results**

The crude protein concentration of corn, canola meal, meat pork meal, and urea used in diets, and crude protein concentration of diets used in the trial are shown in Table 2. The CP concentration values were within the expected range. The CP concentration of each diet was very close ( $<0.6\%$  variance) to targeted throughout the course of the study.

Treatment effects on growth performance and dietary net energy are shown in Table 3-4. During initial 56 days of feeding, average daily gain (ADG) increased (linear effect,  $P \leq 0.04$ ) with increasing CP level. However, during the final 28-d period (from day 56 to harvest), ADG was not affected ( $P > 0.49$ ) by dietary CP level. Notwithstanding, the

initial 56-d effect on ADG was sufficient so that overall ADG increased (linear effect,  $P=0.01$ ) with increasing CP level.

Likewise, DMI increased (linear effect,  $P \leq 0.03$ ) during initial 56 days. There was also a numerical trend (linear effect,  $P = 0.08$ ) for greater DMI during the final 28 d. Overall (d1 to d 84), DMI increased ( $P = 0.03$ ) with increasing level of CP.

Gain efficiency increased ( $P < 0.01$ ) with increasing CP level during initial 28-d period. From d 28 to 56 differences in gain efficiency were not appreciable ( $P > 0.17$ ), and during the final 28-d period gain efficiency decreased (linear effect,  $P = 0.03$ ) with increasing CP. Notwithstanding, overall 84-d gain efficiency increased (linear effect,  $P < 0.01$ ) with increasing CP level.

Estimated dietary NE, observed-to-expected diet NE and apparent energy retention per unit DMI increased (linear effect,  $P \leq 0.05$ ) during initial 56 days. During the final 28-d period, and overall (84-d), there were no treatment effects ( $P \geq 0.17$ ) on dietary NE, observed-to-expected diet NE.

Treatment effects on carcass characteristics and chemical composition are shown in Tables 4-5. Hot carcass weight, KPH and backfat thickness increased (linear effect,  $P = 0.02$ ) with increasing CP level. However, there were no treatment effects ( $P \geq 0.67$ ) on LM area, wall thickness, and carcass composition.

Weights of liver ( $P < 0.01$ ), stomach complex ( $P = 0.08$ ), intestines ( $P = 0.07$ ) and visceral fat ( $P < 0.01$ ) increased with increasing CP level. Although, when expressed as g/kg of EBW, CP level did not affect ( $P \geq 0.55$ ) proportion of stomach complex, intestines, and liver. Increasing CP level increased (linear effect,  $P < 0.01$ ) the proportion of visceral fat (Table 6).

#### 4. Discussion

The CP concentration of white corn used in the present experiment was consistent with previous reports (Sánchez et al., 2007; Castro-Perez et al., 2013). White corn grain generally contained slightly greater N than yellow corn (Cravero et al., 2003; Plascencia et al., 2011). The CP concentration of the canola meal used was very similar to the standard quality US canola meal obtained by solvent extraction specified by NRC (2007). The CP content of rendered pork meat meal was consistent with the analyses provided by the Company.

Consistent with our results, increased DMI, ADG, and gain efficiency has been a consistent response to increases in dietary CP level in lightweight finishing lambs (Fluharty and McClure, 1997; Manso et al., 1998; Dabiri and Thonney, 2004; Javed et al., 2010). Protein supplementation may stimulate energy intake indirectly by improving diet acceptability, enhancing fermentation of organic matter, and modulation of gastric emptying (Zinn and Shen, 1998). More directly, providing adequate metabolizable protein (MP) to meet requirements to sustain its genetic potential for growth at optimal energy intake promotes both increased growth rate and improved energetic efficiency. This effect is expected during the early growing phase where limitations in metabolizable protein supply are more particularly manifest. Based on the equation proposed by NRC (2007) the metabolizable protein (MP) requirements (using ADG and average SBW) of lambs in CP11, CP14, CP17 and CP20 treatments during the first 28-d period, were 113, 123, 135 and 136 g/d, respectively. Based on the expected intestinal flow of MP microbial protein  $[(NRC, 1985b, 6.25 \times (0.809 \times (23TDN - 1.21)) \times 0.80)]$ , where TDN is expressed as kg plus metabolizable undegraded intake protein  $(0.80 \times UIP \times CP \times DMI \times 0.0001)$ , Table 1

and 3) the MP supply for treatments CP11, CP14, CP17 and CP20 represented 0.88, 0.96, 0.99 and 1.04 of requirement, respectively. During the remaining two 28-d periods, MP supply exceeded requirements for all treatments. During the early feedlot growing phase, metabolizable methionine is expected to be the first limiting amino acid following by lysine in growing lambs fed a corn-based diets with urea as the sole source of supplemental N. The requirements of methionine and lysine of growing-finishing lambs are very similar than cattle (NRC, 2007). For efficient or optimal utilization, MP supply to the intestine should contain 5.6% lysine, and 1.7% methionine (NRC, 2007; Klemesrud et al., 2000; Zinn and Shen, 1998; Torrentera et al., 2017). Accordingly, the first limiting metabolizable amino acid during the first 28-d period was lysine, with diets providing 0.84, 0.95, 1.0, and 1.05, of requirements for CP11, CP14, CP17 and CP20, respectively. The lower dietary  $NE_g$  observed for CP11 and CP14 in this phase (0.94% and 97% of expected, respectively) is consistent with previous work evaluating metabolizable amino acid supplies in both crossbreed and Holstein steers (Zinn and Shen, 1998; Zinn et al., 2007; Torrentera et al., 2017). The observed to expected dietary NE for lambs receiving CP17 and CP20 treatments was enhanced 4%. Observed-to-expected dietary net energy and DMI are an important and practical application of current standards for energetics in nutrition research (Zinn et al., 2008). The estimation of dietary energy and the ratio of observed-to-expected DMI (apparent energy retention per unit DMI) reveals differences in the efficiency of energy utilisation of the diet itself, independent of confounding effects of ADG and DMI associated with gain-to-feed ratios.

Increases in gain efficiency of 10.7% was reported in Finnsheep  $\times$  Dorset lambs when CP level was increased from 13 to 17% (Dabiri and Thonney, 2004). Increasing CP

levels from 12 to 14% increased gain efficiency 15.8% in growing Talli lambs (Javed et al., 2010). Increasing protein level from 16.5 vs 20.7% CP increased gain efficiency 10.8% in Hampshire × Targhee crossbred lambs (starting finishing phase at 23 kg LW) in the first 41-d growing phase (Fluharty and McClure, 1997). During the subsequent finishing phase CP level did not affect growth performance. During a 50 d growing finishing period (initial weight, 31.4 kg), Kaya et al. (2009) observed a 17.2% increase in gain efficiency when CP was increased from 10 to 13% of diet, but not from 13 to 16% CP. Likewise, Dabiri and Thonney (2004) did not observe an improvement in 42-d gain efficiency of lambs (initial weight, 24.5 kg) when CP was increased from 15 to 17%. Generally (Beauchemin et al., 1995; Ruiz-Nuño et al., 2009), the magnitude of the positive effects on gain efficiency had been less appreciable when dietary CP level exceeded 14% in high-energy diets, such as that used in the present study. As duration of the feeding period increases, the great levels of dietary CP exceed requirements and hence, responses in gain efficiency diminish. This is observed both in feedlot lambs (Fluharty and McClure, 1997; Kaya et al., 2009; Ríos-Rincón et al., 2014) as well as in feedlot cattle (Zinn et al., 2007; Carrasco et al., 2013), and confirm our observation the absence of positive effects on observed-to-expected diet NE in the present experiment at higher levels dietary of CP beyond 56 days of finishing.

The optimal requirements for CP intake (based on the observed weight gain and energy efficiency) during first 28-d period was 13 g/kg BW<sup>0.75</sup> (diet NE<sub>m</sub> energy:protein ratio of 13 cal/g of CP), this value is in reasonable agreement (0.94) with NRC (2007) for lambs growing from 20 to 30 kg (expected ADG= 0.300 kg/d). Thereafter, optimal CP

intake was 11.5 g/kg BW<sup>0.75</sup> (diet NE<sub>m</sub> energy:protein ratio of 14.5 cal/g of CP) for finishing Pelibuey × Katahdin lambs up to 50 kg LW.

Aside from the linear increase in carcass weight (Table 5), dietary CP level had minimal effects on carcass characteristics. The absence of effects of CP level on dressing percentage and LM area is consistent with previous reports (Beauchemin et al., 1995, Machado da Rocha et al., 2004; Ruiz-Nuño et al., 2009). Effects of CP levels on KPH and backfat thickness are consistent with treatment effects on ADG and final carcass weight (Ruiz-Nuño et al., 2009; Ríos-Rincón et al., 2014). In contrast, Ebrahimi et al. (2007) and Ríos-Rincón et al. (2014) observed that although increasing protein level increased carcass weight, it did not affect backfat thickness of finishing lambs. Consistent with previous studies (Hadjipanayotou, 1982; Searle et al., 1982; Ríos-Rincón et al., 2014), dietary CP level did not affect muscle-to-fat ratio, and muscle-to-bone ratio remained unchangeable by protein level.

It is generally recognized (Fluharty and McClure, 1997; Ludden et al., 2002), that the primary non-carcass components affected by CP level are liver, stomach, and intestines. The magnitude of the effect can be mediated by CP level, stage of growth, diet energy density and type of organ (Wang et al., 2009). Swanson et al. (1999) indicate that the influence of protein supplementation on visceral growth involves primarily the liver and not the intestines. In the present experiment, total liver weight linearly increased with increasing dietary CP level. Whereas, there were tendencies for increasing total weight of stomach complex and intestines. However, when expressed as a proportion of EBW (g/kg EBW) differences become less appreciable.

## **5. Conclusions**

It is concluded that in growing-finishing lambs fed high-energy diets, increasing dietary CP level up to 17% can effectively enhance growth performance and dietary energy, particularly during the first 56 days of growing phase. Based on weight gain and energy efficiency, optimal requirements of protein intake during first 28 days is around of 13 g/kg BW<sup>0.75</sup> (diet energy:protein ratio of 13 cal/g of CP). Thereafter, 11.5 g/kg BW<sup>0.75</sup> (diet energy:protein ratio of 14.5 cal/g of CP) appears optimal for finishing Pelibuey × Katahdin lambs.

#### **Conflict of interest statement**

Author declare no conflict of interest

#### **References**

- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD.
- Beauchemin, K.A., McClelland, L.A., Jones, S.D.M., Kozub, G.C., 1995. Effects of crude protein content, protein degradability and energy concentration of the diet on growth and carcass characteristics of market lambs fed high concentrate diets. *Can. J. Anim. Sci.* 75, 387–395.
- Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell A.N., Van Soest, P.J., 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82,149-169.
- Canton, J.G., Quintal, J.A., 2007. Evaluation of growth and carcass characteristics of pure Pelibuey sheep and their cross with Dorper and Katahdin breeds. *J. Anim. Sci.* 85 (Suppl. 1), 581. (Abstr.).



- Castro-Pérez, B.I., Garzón-Proaño, J.S., López-Soto, M.A., Barreras, A., González, V.M., Plascencia, A., Estrada-Angulo, A., Dávila-Ramos, H., Ríos-Rincón, F.G., Zinn, R.A., 2013. Effects of replacing dry-rolled corn with increasing levels of corn dried distillers grains with solubles on characteristics of digestion, microbial protein synthesis and digestible energy of diet in hair lambs fed high-concentrate diets. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 26, 1152-1159.
- Carrasco, R., Arrizon, A.A., Plascencia, A., Torrentera, N.G., Zinn, R.A., 2013. Comparative feeding value of distillers dried grains plus solubles as a partial replacement for steam-flaked corn in diets for calf-fed Holstein steers: characteristics of digestion, growth-performance, and dietary energetic. *J. Anim. Sci.* 91, 1801-1810.
- Cravero, A.P., Morón-Jiménez, M.J., Ramón, A.N., 2003. Composición química y digestibilidad del mote. *ALAN.* 53, 418:424. (In Spanish).
- Dabiri, N., Thonney, M.L., 2004. Source and level of supplemental protein for growing lambs. *J. Anim. Sci.* 82, 3237-3244.
- Ebrahimi, R., Ahmadi, H.R., Zamiri, M.J., Rowghani, E., 2007. Effect of energy and protein levels on feedlot performance and carcass characteristics of Mehraban ram lambs. *Pakistan J. Biol. Sci.* 15, 1679-1684.
- Fluharty, F.L., McClure, K.E., 1997. Effects of dietary energy intake and protein concentration on performance and visceral organ mass in lambs. J. Anim. Sci.* 75, 604-610.

- Haddad, S.G., Nasr, R.E., Muwalla, M.M., 2001. Optimum dietary crude protein level for finishing Awassi lambs. *Small Rum. Res.* 39, 41-46.
- Hadjipanayotou, M., 1982. Protein levels for *Chios* lambs given high concentrate diets. *Ann. Zootech.* 31, 269-278.
- Hinkelmann K., O. Kempthorne. 2008. Design and Analysis of Experiments Volume 1. Introduction to Experimental Design. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey.
- Javed, S.I., Asif, J., Muhammad, A., 2010. Nutrient digestibility and feedlot performance of lambs fed diets varying protein and energy content. *Trop. Anim. Health Prod.* 42, 941-946.
- Kaya. I., Unal, Y., Sahin, T., Elmali, D., 2009. Effect of different protein levels on fattening performance, digestibility and rumen parameters in finishing lambs. *J. Anim. Vet. Adv.* 8, 309-312.
- Klemesrud, M.J., Klopfenstein, T.J., Lewis, J.A., 2000. Metabolizable methionine and lysine requirements of growing cattle. *J. Anim. Sci.* 78, 199-206.
- Luaces, M.L., Calvo, C., Fernández, B., Fernández, A., Viana, J.L., Sánchez, L., 2008. Ecuaciones predictoras de la composición tisular de las canales de corderos de raza gallega. *Arch. Zootec.* 57, 3-14.
- Ludden, P. A., Wechter, T. L., Hess, B. W., 2002. Effects of oscillating dietary protein on nutrient digestibility, nitrogen metabolism, and gastrointestinal organ mass in sheep. *J. Anim. Sci.* 80, 3021-3026.

- Machado da Rocha, H.M., Susin, I., Pires, A.V., Fernández, J.S., Quirino, C.M., 2004. Performance of Santa Inés lambs fed diets of variable crude protein levels. *Sci. Agric.* 61, 141-145.
- Manso, T. Mantecón, A.R., Giraldez, F.J., Lavin, P., Castro, T., 1998. Animal performance and chemical body composition of lambs fed diets with different protein supplements. *Small Rum. Res.* 29, 185-191.
- Neville, T.L., Ward, M.A., Reed, J.J., Soto-Navarro, S.A., Julius, S.L., Borowicz, P.P., Taylor, J.B., Redmer, D.A., Reynolds, L.P., Caton, J.S., 2008. Effects of level and source of dietary selenium on maternal and fetal body weight, visceral organ mass, cellularity estimates, and jejunal vascularity in pregnant ewe lambs. *J. Anim. Sci.* 86, 890-901.
- NRC.1985a. Nutrient requirement of sheep. 6th ed. National Academy Press. Washington, DC.
- NRC.1985b. Ruminant Nitrogen Usage. National Academy Press. Washington, DC.
- NRC. 2007. Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press. Washington, DC.
- Partida, P.J.A., Martínez, L.R., 2010. Body composition in Pelibuey lambs in terms of feed energy concentration and slaughter weight. *Rev. Vet. Mex.* 41, 177-190.
- Pineda, J., Palma, J.M., Haenlein, G.F.W., Galina, M.A., 1998. Fattening of Pelibuey hair sheep and crossbreds (Rambouillet-Dorset×Pelibuey) in the Mexican tropics. *Small Rumin. Res.* 27, 263-266.

- Plascencia, A., Bermudez, R., Cervantes, M., Corona, L., Davila-Ramos, H., López-Soto, M.A., May, D., Torrentera, N., Zinn, R.A., 2011. Influence of processing method on comparative digestion of white corn vs. conventional steam-flaked yellow dent corn in finishing diets for feedlot steers. *J. Anim. Sci.*89, 136-141.
- Ríos, F.G., Gómez-Vázquez, A., Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J.C., Estrada-Angulo, A., Hernández-Bautista, J., Portillo, J.J., 2011. Effect of breed on performance and carcass characteristics of Mexican hair sheep. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 41, 275-279.
- Ríos-Rincón, F.G., Dávila-Ramos, H., Estrada-Angulo, A., Plascencia, A., López-Soto, M.A., Castro-Pérez, B.I., Calderón-Cortes, J.F., Portillo-Loera, J.J., Robles-Estrada, J.C., 2014. Influence of protein and energy level on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics of feedlot hair lambs. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27, 55-60.
- Ruiz-Nuño, A., J.J. Uribe-Gomez, J.R. Orozco-Hernandez and V.O. Fuentes-Hernandez. 2009. The effect of protein level concentrations in the diet of fattening Dorper and Pelibuey lambs. *J. Anim. Vet. Adv.*8,1049-1051.
- Sánchez, F.C., Salinas, M.Y., Vázquez, G.M.C., Velázquez, G.G.A., Aguilar, G.N., 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *ALAN.*57, 295-301 (In Spanish).
- SAS, 2007. User's Guide: Statistics Version 9, 6th ed. SAS Inst., Inc., Cary, NC.

- Searle, T.W., Graham, N. McC., Donnelly, J.B., 1982. The effect of plane of nutrition on the body composition of two breeds of wearier sheep fed a high protein diet. *J. Agric. Sci., Camb.* 98, 241–245.
- Swanson, K. C., Redmer, D. A., Reynolds, L. P., Caton, J. S., 1999. Ruminally undegraded intake protein in sheep fed low-quality forage: effect on weight, growth, cell proliferation, and morphology of visceral organs. *J. Anim. Sci.* 77, 198-205.
- Torrentera, N., Carrasco, R., Salinas-Chavira, J., Plascencia, A., Zinn, R.A., 2017. Influence of methionine supplementation of growing diets enriched with lysine on feedlot performance and characteristics of digestion in Holstein steer calves. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 30, 42-50.
- USDA, 1982. Official United States Standards for Grades of Carcass Lambs, Yearling Mutton and Mutton Carcasses. *Agric. Marketing.*
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.
- Wang, Y. J., Holligan, S., Salim, H., Fan, M. Z., McBride, B. W., Swanson, K. C., 2009. Effect of dietary crude protein level on visceral organ mass, cellularity, and the protein expression of ATP synthase, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase, proliferating cell nuclear antigen and ubiquitin in feedlot steers. *Can. J. Anim. Sci.* 89, 493-501.
- Zinn, R.A., Barreras, A., Owens, F.N., Plascencia, A., 2008. Performance by feedlot steers and heifers: ADG, mature weight, DMI and dietary energetics. *J. Anim. Sci.* 86, 1-10.

Zinn, R.A., Calderon, J.F., Corona, L., Plascencia, A., Montaña, F., Torrentera, N., 2007.

Phase feeding strategies to meet metabolizable amino acid requirements of calf-fed Holstein steers. *Prof. Anim. Sci.* 23, 333-339.

Zinn, R.A., Shen, Y., 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and

metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 76, 1280–1289.

Zundt, M., Macedo, F.A.F., Martins, E.L., Mexia, A.A., Yamamoto, S.M., 2002.

Performance of Lambs Fed with Different Protein Levels. *Rev. Bras. Zoot.* 31, 1307-1314.

Table 1.  
Composition of experimental diets (DM basis)

Item	Protein level, % of DM			
	11	14	17	20
White corn, cracked	75.00	68.50	63.15	57.40
Canola meal	---	6.25	9.50	16.00
Meat meal <sup>1</sup>	---	2.50	5.50	7.25
Wheat Straw	11.00	10.00	9.00	7.00
Molasses	8.65	7.00	6.50	5.50
Tallow	3.00	3.50	4.00	4.50
Urea	1.10	1.00	1.10	1.10
Zeolite	0.75	0.75	0.75	0.75
Trace mineral salt <sup>2</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50
Chemical composition, DM basis <sup>3</sup>				
CP, %	11.1	14.1	16.9	19.8
NDF	15.4	16.5	16.9	17.1
EE, %	6.38	7.11	7.80	8.42
Ash, %	3.70	4.27	4.91	5.37
Rumen DIP, %	61.0	60.4	60.5	61.1
Rumen UIP, %	39.0	39.6	39.5	38.9
Estimated NE, Mcal/kg <sup>4</sup>				
NE <sub>m</sub>	2.03	2.03	2.03	2.03
NE <sub>g</sub>	1.38	1.38	1.38	1.38
E:P ratio <sup>5</sup>	0.183	0.144	0.120	0.102

<sup>1</sup>Pure pork meat meal (El Kowi Enterprice, Hermosillo, Sonora, México).

<sup>2</sup> Trace mineral salt contained: CoSO<sub>4</sub>, 6.8 g/kg; CuSO<sub>4</sub>, 10.4 g/kg; FeSO<sub>4</sub>, 35.7 g/kg; ZnO, 12.4 g/kg; MnSO<sub>4</sub>, 10.7 g/kg; KI, 0.52 g/kg; and NaCl, 923.5 g/kg.

<sup>3</sup> Degradable intake protein (DIP) was calculated based on tabular DIP values for individual ingredients (NRC 2007). Dietary chemical composition for CP, NDF, EE, ash, and neutral detergent fiber (assayed with amylase and expressed exclusive of residual ash) were determined by analyzing subsamples collected and composited throughout the experiment.

<sup>4</sup> Net energy was calculated based on tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (NRC 2007).

<sup>5</sup> Estimated kcal net energy of maintenance/g protein.

**Table 2**

Variation on CP concentration of ingredients and diets used in the trial

Item	PC (N×6.25)
Ingredients <sup>1</sup>	
Corn	9.45±0.10
Canola meal	41.80±0.16
Meat meal <sup>2</sup>	58.71±0.14
Urea	281.80±0.06
Diets <sup>3</sup>	
T11	11.10± 0.09
T14	14.05±0.11
T17	17.03±0.07
T20	20.02±0.13

<sup>1</sup> n = 8 samples of each ingredient.<sup>2</sup>Pure pork meat meal (El Kowi Enterprise, Hermosillo, Sonora)<sup>3</sup> n =12 samples (one of each batch elaborated weekly during the trial).



1 **Table 3**

2 Treatment effects on growth performance in Pelibuey × Katahdin lambs fed different levels of protein.

Item	Protein level, %				SEM	Contrast <i>P</i> -value <sup>1</sup>		
	11	14	17	20		Lineal	Quadratic	Cubic
Days on test	84	84	84	84				
Pen replicates	5	5	5	5				
Shrunk body weight, Kg <sup>2</sup>								
Initial	22.99	23.08	23.09	22.99	0.108	0.97	0.38	0.95
Final	43.35	45.42	46.27	48.22	0.936	<0.01	0.71	0.40
ADG, kg/d								
1 to 28 d	0.213	0.250	0.298	0.302	0.018	<0.01	0.21	0.89
28 to 56 d	0.246	0.275	0.270	0.319	0.020	0.04	0.63	0.36
56 to 84 d	0.268	0.273	0.260	0.280	0.016	0.75	0.64	0.49
1 to 84 d	0.242	0.266	0.276	0.300	0.014	0.01	0.78	0.41
DMI, kg/d								
1 to 28 d	0.827	0.910	0.972	0.961	0.037	0.01	0.41	0.99
28 to 56 d	1.058	1.140	1.159	1.281	0.058	0.03	0.86	0.64
56 to 84 d	1.261	1.360	1.318	1.447	0.061	0.08	0.81	0.26
1 to 84 d	1.049	1.136	1.150	1.230	0.043	0.03	0.96	0.48
G:F, kg/kg								
1 to 28 d	0.258	0.275	0.307	0.314	0.010	<0.01	0.15	0.88

28 to 56 d	0.232	0.241	0.233	0.249	0.008	0.17	0.52	0.18
56 to 84 d	0.213	0.201	0.197	0.194	0.009	0.03	0.48	0.73
1 to 84 d	0.231	0.234	0.240	0.244	0.004	0.01	0.42	0.47

3 <sup>1</sup>*P* = Observed significance level linear, quadratic and cubic effect of protein level supplementation.

4 <sup>2</sup>Initial shrunk weight is the full live weight reduced 4% to adjustment for gastrointestinal fill. Final shrunk weight was obtained following an 18 h fast  
5 (food but not drinking water was withdrawn).

6 **Table 4**

7 Treatment effects on dietary energy in Pelibuey × Katahdin fed different levels of protein.

Item	Protein level, %				SEM	Contrast <i>P</i> -value <sup>1</sup>		
	11	14	17	20		Lineal	Quadratic	Cubic
Days on test	84	84	84	84				
Pen replicates	5	5	5	5				
Dietary NE, Mcal/kg								
Maintenance								
1 to 28 d	1.98	2.02	2.15	2.15	0.038	<0.01	0.11	0.90
28 to 56 d	2.00	2.06	2.06	2.12	0.028	0.03	0.86	0.21
56 to 84 d	2.05	2.01	2.04	2.01	0.026	0.28	0.82	0.43
1 to 84 d	2.01	2.04	2.08	2.09	0.024	0.05	0.43	0.75
Gain								
1 to 28 d	1.33	1.36	1.49	1.48	0.034	<0.01	0.11	0.90
28 to 56 d	1.35	1.40	1.39	1.45	0.028	0.03	0.87	0.21
56 to 84 d	1.39	1.35	1.39	1.36	0.023	0.28	0.82	0.43
1 to 84 d	1.35	1.38	1.42	1.42	0.021	0.05	0.43	0.75
Observe to expected dietary NE ratio <sup>2</sup>								
Maintenance								
1 to 28 d	0.96	0.98	1.04	1.04	0.018	<0.01	0.11	0.83
28 to 56 d	0.97	0.99	0.99	1.02	0.016	0.02	0.86	0.27

56 to 84 d	0.99	0.96	0.98	0.98	0.017	0.44	0.82	0.34
1 to 84 d	0.97	0.98	1.00	1.01	0.021	0.17	0.44	0.92
Gain								
1 to 28 d	0.94	0.97	1.04	1.05	0.024	<0.01	0.11	0.82
28 to 56 d	0.95	0.99	0.99	1.02	0.025	0.03	0.86	0.27
56 to 84 d	0.99	0.96	0.98	0.97	0.016	0.44	0.82	0.34
1 to 84 d	0.97	0.98	1.00	1.01	0.022	0.17	0.44	0.92
Observed to expected daily DM intake <sup>3</sup>								
1 to 28 d	1.05	1.02	0.95	0.94	0.022	<0.01	0.10	0.91
28 to 56 d	1.04	1.00	1.00	0.98	0.017	0.03	0.80	0.15
56 to 84 d	1.00	1.03	1.01	1.03	0.023	0.31	0.78	0.40
1 to 84 d	1.02	1.01	0.99	0.98	0.014	0.17	0.44	0.92

8 <sup>1</sup> P = Observed significance level linear, quadratic and cubic effect of level of protein level supplementation.

9 <sup>2</sup> Expected diet NE based on tabular values for individual dietary ingredients (NRC, 2007).

10 <sup>3</sup> Expected DMI was computed as follows:  $DMI, \text{ kg/d} = (EM/NE_m) + (EG/NE_g)$ , where EM= maintenance coefficient of 0.056 Mcal/ BW<sup>0.75</sup> (NRC,  
11 1985a) and EG is the daily energy deposited (Mcal/d) estimated by equation:  $EG = ((0.276 \times ADG) \times SBW^{0.75})$ , NRC, 1985a). The divisor NE<sub>m</sub> and NE<sub>g</sub>  
12 are the NE of diet (calculated from tables of composition of feed (NRC, 1985a)].

13 **Table 5**

14 Treatment effects on carcass characteristics and chemical composition of Pelibuey × Katahdin fed different levels of protein

Item	Protein level, %				SEM	Contrast <i>P</i> -value <sup>1</sup>		
	11	14	17	20		Linear	Quadratic	Cubic
HCW, kg	24.30	25.44	25.75	26.98	0.700	0.02	0.94	0.59
Dressing percentage <sup>2</sup>	56.17	55.51	55.57	55.94	0.809	0.86	0.54	0.90
CCW, kg	23.79	25.10	25.49	26.57	0.738	0.03	0.88	0.63
Drip loss, %	1.34	1.28	1.06	1.38	0.179	0.91	0.31	0.40
LM area, cm <sup>2</sup>	15.35	15.23	15.68	15.36	0.593	0.87	0.85	0.63
KPH, %	2.42	2.43	2.59	2.96	0.153	0.03	0.25	0.93
Backfat thickness, mm <sup>3</sup>	0.32	0.31	0.37	0.41	0.028	0.03	0.50	0.47
Wall thickness, mm	20.22	20.85	20.44	20.82	0.927	0.74	0.90	0.67
Carcass composition, %								
Lean	59.08	58.95	59.16	58.87	0.738	0.90	0.92	0.81
Fat	22.54	22.40	21.86	22.36	0.792	0.90	0.56	0.96
Bone	18.38	18.65	18.95	18.77	0.610	0.67	0.78	0.91
Muscle:fat ratio	2.62	2.63	2.71	2.64	0.121	0.96	0.99	0.77
Muscle:bone ratio	3.21	3.16	3.12	3.14	0.143	0.75	0.95	0.67
Estimated yield grade <sup>4</sup>	22.54	22.40	21.86	22.36	0.792	0.90	0.56	0.96

15 <sup>1</sup> *P* = Observed significance level linear, quadratic and cubic effect of protein level supplementation.16 <sup>2</sup> Computed as follows: Dressing percentage = (HCW/Final BW\*0.96)\*100.

17 <sup>3</sup> Fat thickness over the center of the LM between of 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> ribs.

18 <sup>4</sup>Yield grade was estimated as:  $YG = (\text{Fat thickness, in} \times 10) + 0.4$  (8), where: 1=Most desirable, minimum fat and heavy muscled, and 5= Least  
19 desirable, fat and light muscled.

20 **Table 6**

21 Treatment effects on organ mass of Pelibuey × Katahdin fed different levels of protein

Item	Protein level, %				SEM	Contrast <i>P</i> -value <sup>1</sup>		
	11	14	17	20		Linear	Quadratic	Cubic
EBW, percentage of full weight	91.75	92.03	92.30	92.49	0.39	0.16	0.91	0.96
Organs								
Stomach complex <sup>2</sup> , kg	1.100	1.170	1.158	1.216	0.42	0.08	0.89	0.42
Stomach complex, g/kg EBW	27.23	27.79	26.97	27.20	0.65	0.75	0.80	0.41
Intestines <sup>3</sup> , kg	1.695	1.803	1.784	1.858	0.064	0.07	0.76	0.38
Intestines, g/kg EBW	42.07	42.71	41.80	41.65	1.122	0.69	0.74	0.64
Liver, kg	0.836	0.880	0.880	0.935	0.020	<0.01	0.74	0.17
Liver, g/kg EBW	20.71	20.89	20.59	20.98	0.185	0.55	0.55	0.18
Visceral fat, kg	1.476	1.616	1.742	1.918	0.057	<0.01	0.50	0.10
Visceral fat, g/kg EBW	36.77	38.36	40.80	43.14	1.201	<0.01	0.51	0.26

22 <sup>1</sup> *P* = Observed significance level for linear, quadratic and cubic effect of protein level supplementation.

23 <sup>2</sup> Stomach complex = (rumen + reticulum + omasum + abomasums), without digesta.

24 <sup>3</sup> Small and large intestine without digesta.