

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ciencias Agrícolas

Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias



**“EVALUACIÓN DE CUATRO FUENTES DE SUPLEMENTACIÓN
DE PROTEÍNA VEGETAL EN DIETAS DE VACAS HOLSTEIN EN
PRODUCCIÓN”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA:

ARIS BIONEL CANO ESPINOZA

DIRECTOR DE TESIS

DR. MARTÍN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. MIGUEL MELLADO BOSQUE

MEXICALI, B. C., MÉXICO

SEPTIEMBRE DE 2018

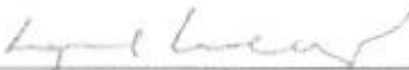
La presente tesis **“Evaluación de cuatro fuentes de suplementación de proteína vegetal en dietas de vacas Holstein en producción”** realizada por el **C. Aris Bionel Cano Espinoza**, dirigido por el **Dr. Martín Francisco Montaña Gómez**, ha sido evaluada y aprobada por el comité particular abajo indicado, como requisito arcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias

Comité Particular



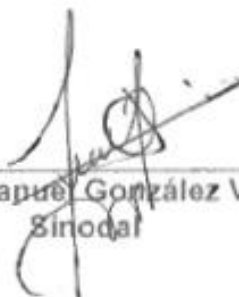
Dr. Martín Francisco Montaña Gómez
Director de Tesis



Dr. Miguel Mellado Bosque
Co-Director de Tesis



Dr. Juan Octavio Chirino Romero
Sinodal



Dr. Víctor Mapuél González Vizcarra
Sinodal



Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

A México, Mexicali en especial, por abrirme las puertas y poner en mi vivir la armonía adecuada para culminar con éxito cada propósito.

Al Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California, su cuerpo académico y a mi director de tesis Dr. Martín Francisco Montaña Gómez, por ofrecerme sus conocimientos, infraestructura y equipos para la culminación de este proyecto.

A los integrantes de mi Comité de tesis, por sus invaluable consejos y apoyo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por brindarme el apoyo invaluable para lograr este avance profesional.

A cada uno de los compañeros que ayudaron de una manera u otra para que se llevara a cabo cada parte del experimento.

DEDICATORIA

A Dios principalmente, por permitirme brindarme salud y fortaleza para la realización a plenitud de este proyecto.

A mi familia, que con respeto han apoyado cada una de las decisiones que he tomado y han sido pilar fundamental en mantenerme animado a culminar cada una de las metas trazadas.

A mi patria.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto sustitutivo de cuatro fuentes proteicas reemplazando parcialmente el heno de alfalfa en dietas para vacas Holstein. En un primer estudio se utilizaron 12 vacas Holstein multíparas en su primer y segundo tercio de lactación. Los tratamientos consistieron en la inclusión parcial de pasta de soya, pasta de canola (CM), granos secos de destilería con solubles (DDGS) y pasta de cacahuate en sustitución de heno de alfalfa (fuente de proteína de la dieta control) . El porcentaje de inclusión del suplemento proteico representó el 20% de la PC del tratamiento control en sustitución de la alfalfa. Se determinó el contenido de grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos y nitrógeno ureico en leche y sangre (NUL y NUS). No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) para producción de leche, sus componentes, rendimiento de sus componentes ni para las concentraciones de NUS y NUL. Este último fue diferente cuando se reemplazó por DDGS y pasta de cacahuate ($P < 0.05$). La sustitución de cualquiera de los suplementos proteicos de origen vegetal reemplazando parcialmente al heno de alfalfa como fuente de proteína vegetal en la dieta, mantiene sin alteración la producción y composición de la leche, manteniéndose los niveles de NUL y NUS dentro de los rangos normales, lo cual indica que la eficiencia de utilización de proteína para los suplementos proteicos usados en este experimento es similar entre ellos, además de un correcto balance de proteína-energía en la dieta.

Palabras clave: Canola, Soya, Pasta de Cacahuate, DDGS.

ABSTRACT

The objective of the present study was to assess the effect of four protein sources replacing partially alfalfa hay in diets for lactating Holstein cows in two experiments. Twelve Holstein cows in their first and second third of lactation were used, respectively. Treatments consisted in the inclusion of soybean meal, canola meal, DDGS or peanut meal replacing the protein source of the control diet (alfalfa hay) as a protein supplement. The protein source represented 20 % of total crude protein (CP) from alfalfa hay in the control diet. Milk fat, protein, lactose, solids-not-fat and milk and blood urea nitrogen (MUN and BUN) were determined. No differences were detected ($P > 0.05$) for milk yield and its components, as well as MUN and BUN concentrations. MUN was different ($P < 0.05$) when DDGS and peanut meal replaced alfalfa hay. The substitution of 20% CP of alfalfa hay by any of the protein sources evaluated maintained unaltered milk yield and composition. MUN and BUN concentration remained within normal ranges. These findings indicate that protein efficiency use of protein sources evaluated in these trials were similar; also, a similar protein:energy balance was observed in the diet.

Keywords: Canola, Soybean, Peanut meal, DDGS.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
Lista de Tablas y Figuras.....	vii
INTRODUCCIÓN	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
Efecto de la fuente de proteína sobre la producción de leche	13
Efecto de la fuente de proteína sobre composición de leche	19
Efecto de la fuente de proteína sobre nitrógeno ureico en sangre y leche ..	24
Metabolismo ruminal de compuestos nitrogenados.....	29
Rutas de metabolismo y utilización del nitrógeno	33
OBJETIVO	41
HIPÓTESIS.....	40
MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
Estudio 1.....	43
Estudio 2.....	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
Estudio 1.....	49
Estudio 2.....	55
CONCLUSIÓN	61
LITERATURA CITADA	62
ANEXOS	75

Lista de Tablas y Figuras

Figura 1. Tendencia del precio (pesos mexicanos) de ingredientes proteicos. Elaboración propia. Fuente: Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (http://www.economia-sniim.gob.mx.). DDGS= Granos secos de destilerías con solubles.....	8
Cuadro 1. Composición y contenido de nutrientes de las dietas experimentales (estudio 1).....	45
Cuadro 2. Composición y contenido de nutrientes de las dietas experimentales (estudio 2).....	48
Cuadro 3. Efecto del reemplazo parcial de la alfalfa por pasta de soya y canola sobre la producción y composición de la leche y el nitrógeno ureico en suero sanguíneo y leche.....	50
Cuadro 4. Efecto del reemplazo parcial de la pasta de canola y soya por heno de alfalfa sobre eficiencia de producción y eficiencia de utilización de N de vacas Holstein lactando.	53
Cuadro 5. Evaluación económica de las dietas. ¹	54
Cuadro 6. Efecto del reemplazo parcial del heno de alfalfa por pasta de cacahuate o granos secos de destilería sobre producción de leche, la composición de ésta y el nitrógeno ureico en sangre y leche.....	57
Cuadro 7. Efecto del reemplazo parcial del heno de alfalfa por pasta de cacahuate o granos secos de destilería sobre sobre eficiencia de producción de leche y eficiencia de utilización de N.	58
Cuadro 8. Evaluación económica de las dietas. ¹	60

INTRODUCCIÓN

Los requerimientos de proteína cruda (PC) en ganado lechero son cubiertos tanto por la proteína microbiana como la proteína que escapa la fermentación ruminal, las cuales son absorbidas en el intestino delgado después de su digestión en abomaso-duodeno. La proteína microbiana suple en promedio 59 % (rango de 34 a 89 %) del nitrógeno no amoniacal que llega al duodeno (Clark et al., 1992). La respuesta del ganado lechero a la suplementación de proteína no degradable en el rumen es variable. Una parte de esta variación es explicada por la fuente y porcentaje de PC de la dieta, la proporción y fuente de proteínas no degradadas en el rumen, el efecto de la proteína no degradable sobre la proteína microbiana saliendo del rumen y la degradabilidad y contenido de aminoácidos de la proteína no degradada en el rumen (Ipharraguerre et al., 2005).

El adecuado equilibrio entre el aporte de energía y proteína en dietas para vacas Holstein lactando es un reto permanente. La clave para una eficiente utilización de nutrientes está en formular una ración que optimice la síntesis de proteína microbiana y que supla la cantidad ideal de proteína de sobrepaso que provea los requerimientos necesarios para la producción de leche (Roy et al., 2005).

La calidad y cantidad de proteína absorbida en el intestino puede limitar la producción de leche (Nousiainen et al., 2004), por lo que la fuente de la misma (sea para síntesis de proteína microbiana o de sobrepaso) puede determinar la eficiencia en la utilización del nitrógeno en el intestino. Huhtanen et al. (2008) determinaron que el balance proteico en el rumen y la concentración de PC de la dieta eran los mejores predictores de la eficiencia de nitrógeno en la leche.

Muchos productores de leche alimentan sus vacas con dietas donde el forraje principal es la alfalfa. Este forraje contiene hasta 20 % de PC con el 80

% o más degradada en el rumen, por lo que al agregar a la dieta un ingrediente con mayor proteína de sobrepaso se puede complementar positivamente al heno de alfalfa (NRC, 2001).

En el Valle de Mexicali se siembran aproximadamente 29,192 ha de alfalfa con una producción anual de 2.4 millones de toneladas. Un factor que limita su utilización es su elevado requerimiento de agua; con frecuencia es necesaria una lámina de riego de 197 cm, en una región donde el agua es sumamente limitada, por lo que los productores deben habilitarse con volúmenes adicionales, elevándose así el costo de producción (SIAP, 2015). Además, tradicionalmente este rubro ha tenido problemas para su correcta comercialización, lo cual se refleja en variaciones de precios pagados a los productores por factores que no corresponden a la calidad o a la demanda real del producto. Esto trae como consecuencia que frecuentemente los intermediarios sean los que se queden con un margen desproporcionado de la cadena de valor de la alfalfa, en perjuicio de los productores y usuarios finales de este forraje (SAGARPA, 2009).

Una opción viable para disminuir la dependencia de la alfalfa henificada en las explotaciones lecheras es la inclusión de fuentes de proteína que posean menos variación en el precio y que de igual manera sean capaces de satisfacer los requerimientos proteicos de los animales (Figura 1). La utilización de productos con mayor concentración de proteína no degradable en el rumen es una alternativa para mejorar los rendimientos de algunos de los componentes de la leche, principalmente proteína y rendimiento de proteína (Faldet y Satter 1991; Broderick et al., 2002; Flis y Wattiaux, 2005). En el presente estudio se decidió reemplazar el 20% de la proteína proporcionada por el heno de alfalfa por cuatro subproductos industriales (pasta de soya, pasta de canola, granos secos de destilería con solubles (DDGS) y pasta de cacahuete) que poseen mayor concentración de proteína no degradable en el rumen y así aumentar la concentración de la misma en toda la dieta.

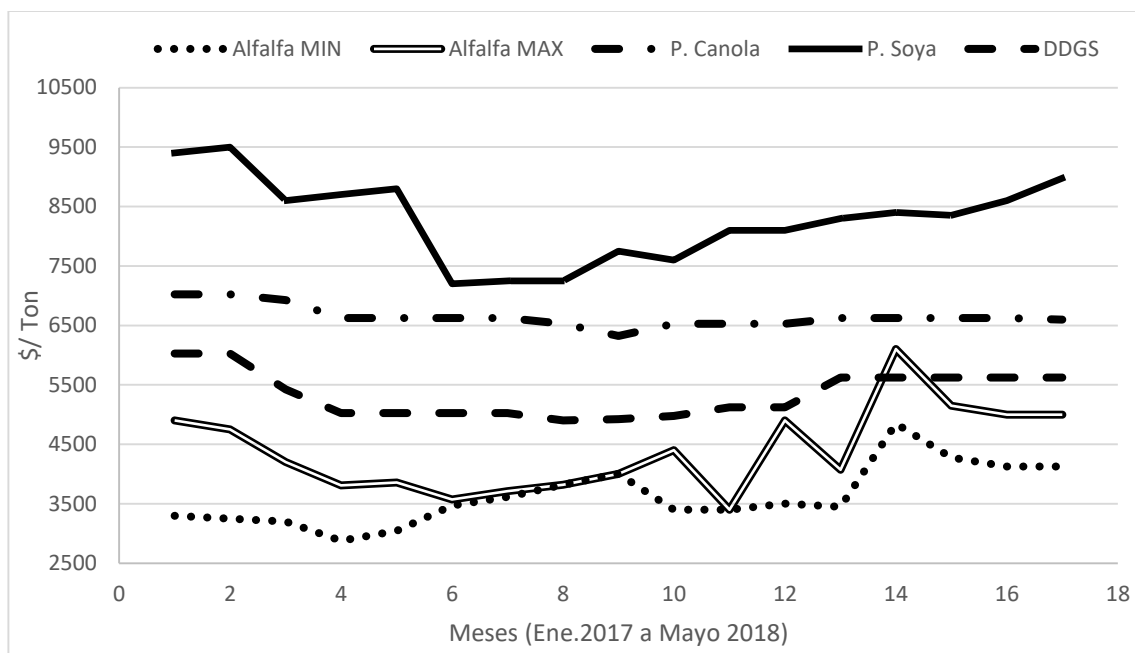


Figura 1. Tendencia del precio (pesos mexicanos) de ingredientes proteicos. Elaboración propia. Fuente: Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (<http://www.economia-sniim.gob.mx>). DDGS= Granos secos de destilerías con solubles

Sin embargo, esta condición de que una fracción de la proteína de un subproducto escape de la fermentación ruminal, está dada por dos factores principales: las características físicas y químicas de la proteína en el mismo y por el método de procesamiento. Los suplementos proteicos constan de cuatro tipos de proteínas incluyendo albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas (Sniffen, 1974). Albuminas y globulinas son proteínas de bajo peso molecular y son solubles en el rumen. Prolaminas y glutelinas tienen mayor peso molecular y contienen enlaces disulfuro que las hacen menos soluble en fluidos ruminales (Nugent et al., 1978). De manera natural en el maíz y la cebada predominan fracciones de proteína no degradable en el rumen, prolaminas y glutelinas. Sin embargo, en la elaboración de subproductos como DDGS o granos provenientes de la industria cervecera y algunos productos de origen animal, toda la fracción soluble de proteína, albuminas y globulinas es fermentada o removida resultando en un subproducto que contiene mayormente prolaminas y glutelinas. Durante la hidrólisis de enlaces peptídicos, la accesibilidad de ciertos

residuos de aminoácidos en la molécula de proteína influyen la tasa y cantidad de degradación de proteínas en el rumen (Craig et al., 1984). Las pérdidas de lisina y arginina son mayores que el resto de aminoácidos cuando la proteína es degradada a nivel ruminal, sugiriendo que la actividad proteolítica de los microorganismos ruminales es similar a la tripsina (Stern et al., 1982; Craig et al., 1984; Crooker et al., 1986). Por lo tanto, enzimas microbianas que tienen acción sobre residuos de lisina como la tripsina en mamíferos puede ser importante en la regulación de la degradación proteica en el rumen (Craig et al., 1984). Subproductos de cereales como los DDGS poseen bajas concentraciones de lisina y arginina que la pasta de soya o productos de origen animal, por lo tanto, la tasa relativa a la cual los enlaces peptídicos en estas proteínas son degradados por proteasas microbiales (similares a la tripsina) puede ser reducida.

Durante el proceso de obtención de subproductos comúnmente son sometidos a procesos de cocción y de secado lo cual involucra altas temperaturas. El calor desnaturaliza las proteínas haciéndolas insolubles; de igual manera el enfriamiento provoca una reubicación aleatoria de los enlaces químicos y la contracción de la molécula de proteína reduciendo el área de superficie para la hidrólisis por parte de los microorganismos ruminales, y por lo tanto, haciendo la proteína más resistente a la degradación ruminal (Bendall, 1964).

Durante la cosecha y/o el procesamiento de materias primas se obtienen subproductos, los cuales tienen un valor agregado cuando se ofrece como alimento al ganado. En un estudio realizado por Bath et al. (1993) se identificaron 355 subproductos, la mayoría de los cuales son utilizados en la actualidad en la alimentación de ganado en EE. UU. Un importante beneficio de la alimentación con subproductos, es el bajo costo de estos. Los costos de alimentación son los principales costos variables asociados a la producción ganadera. Por lo tanto, una producción exitosa está basada en la reducción de costos de producción y el mantenimiento de la productividad de los animales.

Sin embargo, el uso de subproductos húmedos, puede estar limitado por los altos costos de transporte debido a la alta humedad de estos subproductos.

En teoría, cualquier producto con algún valor nutritivo, puede ser utilizado como alimento para el ganado. Una gran gama de subproductos pueden ser substituidos en las dietas de rumiantes por la enorme capacidad que tienen los rumiantes de hidrolizar los carbohidratos estructurales. En los últimos años debido a los cambios climáticos, como la precipitación pluvial, problemas económicos y una ausencia en la tecnología del procesamiento de desechos, éstos han recibido especial atención por los ganaderos y nutriólogos.

Este tipo de suplementación tiene dos grandes ventajas: disminución de la dependencia del ganado por granos que pueden ser destinados al consumo de los humanos y el manejo de desechos. Otros beneficios adicionales a esto es que al clasificarse como subproductos, el costo es menor que al producto del cual fueron extraídos (excepto en la pasta de soya), por lo tanto, disminuyen considerablemente los costos de producción, aunado a un beneficio extra, que radica en que, al incluirlos en la ración para vacas lecheras, no modifica negativamente la producción láctea ni la composición de la misma, inclusive, algunos de ellos pueden llegar a mejorar la producción y composición de la leche (Sterm y Ziemer, 1993).

La siembra y cosecha de cualquier cultivo genera subproductos, y el manejo de éstos significa un problema para el agricultor. En este sentido, estos subproductos aún tienen un valor agregado como alimento para el ganado. A mediados de los 80's en Canadá, sucedió este fenómeno con la canola (Harker et al., 2012), generando grandes cantidades de CM. Ante este problema la solución fue incluirlo en las raciones de rumiantes (Christensen y McKinnon, 1989) como en otros países (Emanuelson, 1989; Tuori, 1992; Huhtanen 1998; Moss, 2002; Tan et al., 2011). En los países en los que hay una gran producción de esta crucífera, la harina de canola (su principal subproducto) es la principal fuente de proteína de dietas para vacas lecheras, debido a su alta

disponibilidad y su gran calidad de proteína (Hickling, 2008; Mulrooney et al., 2009).

La CM tiene un valor y uso muy elevados en la alimentación de ganado lechero debido a su habilidad para mejorar la producción de leche. El suplemento de CM está incrementándose cada vez más en Norte América (por el incremento en la obtención de aceite de canola) y su uso en otros alimentos incrementará (Hickling, 2008). Sumado a esto, la CM, cuesta de un 75-85% menos que la harina de soya.

Los DDGS pueden llegar a reemplazar la fracción de forraje o de concentrado de la dieta, siendo ésta la más usual, ya que, para que reemplace parte del forraje de una dieta, debe contener la cantidad adecuada de fibra efectiva para evitar, entre otras cosas, disminuciones en la concentración de grasa en la leche (Schingoethe et al., 2009). Por otro lado, existe poca literatura sobre el uso de pasta de cacahuete como reemplazo de algunos ingredientes de la dieta de vacas lecheras en la producción y calidad de leche. Debido a diferencia en la naturalidad de los ingredientes al reemplazar un porcentaje de la proteína del heno de alfalfa, fue necesario nivelar los requerimientos de fibra efectiva mediante la incorporación de heno de avena y así evitar posibles alteraciones a nivel ruminal, aunque se ha demostrado que la respuesta productiva de los DDGS es similar al utilizarse en adición a la mayoría de los forrajes (Kalscheur, 2005), con la excepción de los ensilajes de maíz (Kleinschmit et al., 2007; Hollmann et al., 2007).

Por lo tanto, como es conocido, en la alimentación de bovinos productores de leche uno de los nutrientes más importantes para satisfacer sus necesidades tanto de mantenimiento como de producción es la proteína. De este modo, las fuentes proteicas son importantes para cubrir estos requerimientos (mantenimiento y producción). Los altos costos debidos a factores como el incremento de la demanda de granos por parte de la población humana, así como el aumento en la misma población, entre otros factores, han impulsado la exploración de fuentes alternas de proteína disponibles localmente

y a bajo costo. Tal es el caso de los subproductos de la industria de la obtención de aceites de origen vegetal, por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de sustituir parcialmente heno de alfalfa por diferentes fuentes de proteína vegetal (subproductos agroindustriales) sobre la producción y composición de leche en vacas Holstein.

REVISIÓN DE LITERATURA

Efecto de la fuente de proteína sobre la producción de leche

En un estudio realizado Hill (1991), se concluyó que la harina de semilla de canola (colza o crucífera baja en glucosinolatos), puede ser usada igual que la harina de soya, ya que los resultados en producción y calidad son satisfactorios para cualquier de los dos suplementos proteicos. Recientemente, en un meta análisis realizado por Martineau et al. (2013) en 49 estudios isoproteicos ($\pm 1.0\%$ PC de la dieta), en los cuales se evaluó el efecto del reemplazo o sustitución de fuentes de proteína por CM sobre la producción y otras variables de comportamiento, se reportó que la producción de leche respondió positivamente a la inclusión de CM en la dieta en 42 de los 49 estudios evaluados. La producción de leche corregida por energía (LCE) y corregida al 4% de grasa (LCG 4%) también respondió positivamente a tal sustitución. Cuando la CM fue incluida a una concentración de 17.2% en la dieta, la producción de leche, LCG 4% y LCE incrementaron en 1.07, 0.85 y 0.84 kg / vaca, respectivamente. De igual manera se incrementó la eficiencia de producción (kg de leche / kg CMS) en 0.035. Aunque el tipo o fuente de proteína que fue sustituida por CM no tuvo resultados adversos, esta respuesta positiva solo fue reportado en aquellos estudios donde la CM reemplazó otras fuentes de proteínas diferentes a la pasta de soya.

Estudios anteriores donde se ha evaluado el uso de pasta de soya en comparación con CM o el efecto de su concentración en su mayoría se ha utilizado un solo nivel de suplementación y la falta de respuesta de las vacas al utilizar una u otra fuente proteica es debido a que probablemente se exceden los requerimientos de proteína metabolizable (Brito y Broderick, 2007). Al evaluar fuentes de proteína provenientes de pasta de soya, pasta de soya con harina de pescado, CM y CM tratada con calor se reportó que en todos los casos el uso de una de las fuentes alternas de proteína en las dietas a base de ensilaje de maíz y/o alfalfa se incrementó la producción de leche. Esta respuesta puede ser debida principalmente al incremento en el consumo de PC

en la dieta (Huthtanen et al., 2011). Resultados similares fueron reportados por Ipharraguerre y Clark (2005), al incrementar la cantidad de PC de la dieta (140 a 180 g / kg CMS), la producción de leche incrementó 2.7 kg /d. La comparación de CM con una mezcla de pasta de soya y harina de pescado en dietas isoproteicas basadas en ensilaje de pasto durante el primer y segundo tercio de lactación, la producción de leche fue mayor con dietas donde se utilizó la CM (Dewhurst et al., 1999). De la misma manera, en estudios realizados por Brito y Brotherick (2007) en respuesta a la suplementación de CM se incrementó en 1.1 kg/d la producción de leche comparada con vacas que recibían harina de soya. Contrario a esto, Mustafa et al. (1997) no observaron diferencia significativa en producción de leche al comparar CM de alto o normal contenido de fibra con pasta de soya en dietas a base de ensilaje de cebada, ensilaje de alfalfa y grano de cebada.

Esta misma contradicción en respuesta fue observada en estudios más recientes (Gidlund et al., 2015; Paula et al., 2017). La comparación de pasta de soya con CM tratada con calor (TCM), ambas incorporadas a diferentes concentraciones en la dieta de vacas lecheras demostró que la inclusión de TCM mostró un incremento en la producción de leche. Según estos autores, esta respuesta es principalmente asociada a la baja degradabilidad ruminal de la PC de CM, este valor es de 0.35 para CM y 0.64 para pasta de soya (Gidlund et al., 2015). En el estudio de Paula et al. (2017), con la intención de aumentar la PNDR, se agregó TCM para compararla con CM sin tratar y con pasta de soya. Estos autores reportan que no hubo diferencia en cuanto a producción de leche, LCE y 3.5 % LCG cuando se comparó las dos fuentes de proteína, independientemente si la CM fue tratada o no.

Por otro lado, la inclusión de granos de destilería (GD) en las dietas oscilan en rangos de 4.2 (Broderick et al., 1990) a 41.6 % de MS (Van Horn et al., 1985). La repuesta de las vacas lecheras a diferentes cantidades ha sido variable, en algunos casos, la producción de leche ha sido la misma o superior cuando los GD son comparados con las dietas control, principalmente cuando

los niveles superan alrededor del 30 % de inclusión en la dieta (Kalscheur, 2005) y en algunos casos la diferencia es atribuida principalmente al contenido de energía contenida en los GD porque el contenido de grasa no fue “balanceado” en las dietas. En un experimento donde se incluyó GD provenientes de la industria del etanol o de la industria de whiskey comparado con pasta de soya, todos balanceados en igual PNDR y grasa, se encontró que en ambos casos la respuesta de las vacas era mayor en los GD y en los casos en que no lo fue, la diferencia fue atribuida al color oscuro y con posible daño térmico, ya que en donde se utilizó GD con colores amarillos se notó que no hubo diferencia en comparación a la pasta de soya (Powers et al., 1995; Kleinschmit et al., 2006).

Algunos estudios se cuestionan sobre la repuesta sobre el uso de GD ya que en algunos experimentos solo se evaluaron variables durante cuatro o cinco semanas, lo cual crea la duda sobre la respuesta al largo plazo. A raíz de esto un experimento fue conducido en donde las vacas fueron suplementadas con GD en húmedo al 15 % de MS durante toda la lactancia, periodo seco y segunda lactancia. Después del primer año no hubo diferencias en producción de leche (31.7 vs 33.6 kg/d para control y GD, respectivamente); mientras la concentración de grasa (3.75 vs 4.07), concentración de proteína (29 vs 3.41) y eficiencia alimenticia (1.30 vs 1.57 FCM/CMS) fue mayor en las vacas que fueron alimentadas con granos de destilería (Mpapho et al., 2006).

Las respuestas en producción de leche han sido similares (sin diferencia estadística) con la utilización de algunos forrajes, sin embargo, Kleinschmit et al. (2007) observaron una mayor producción de leche cuando las vacas se alimentaron con 15 % de DDGS en combinación con alfalfa comparada a cuando se alimentó con ensilaje de maíz. Probablemente se mejoró el estatus de aminoácidos con la mezcla de alfalfa y DDGS en comparación con dietas a base de ensilaje de maíz, tales resultados concuerdan con los encontrados por Hollmann et al. (2011).

Estudios enfocados en evaluar el uso de los DDGS en reemplazo de CM o pasta de soya demostraron que estas tres fuentes de proteína pueden ser utilizadas ya que la producción de leche fueron similares o inclusive mayor cuando DDGS reemplazó a la pasta de soya (Nichols et al., 1998; Anderson et al., 2006; Schingoethe, 2008). De igual manera, en un estudio de Mulrooney et al. (2009) para determinar la respuesta de dietas en base de CM en reemplazo total o parcial de DDGS reportaron que la producción de leche fue similar entre las dietas y de igual manera LCE, pese a no encontrar diferencias estadísticas en esta variable, la mejor respuesta tendió a ser en las dietas que contenían CM, especialmente cuando solo se reemplazó un tercio de ella por DDGS.

Recientemente, Gaillard et al. realizaron diversos estudios sobre la suplementación de DDGS en dietas a base de maíz (2017) o a base de otros granos (2017b), en sustitución de pasta de soya o CM. En el primer estudio, se determinó el efecto de la utilización de DDGS de maíz en comparación con una mezcla de CM y pasta de soya bajo dos niveles de PC en la dieta; los resultados demostraron que, independientemente de la concentración de PC en la dieta, no hubo diferencia estadística en la producción de leche y LCE al cambiar la fuente de proteína; sin embargo, estas variables fueron de mayor magnitud en las dietas con el mayor contenido de PC, asociado en gran medida al aumento de CMS y a un incremento en la digestibilidad cuando se incrementó la PC, concluyendo que los DDGS pueden ser sustituto para la mezcla de canola-soya sin afectar las variables evaluadas. En el segundo estudio, a través de la sustitución de una mezcla de concentrado (a base de CM, pasta de soya y pulpa de remolacha) por DDGS a base de granos incluyendo maíz a una tasa de 4, 13.5 y 23 % se observó que la producción de leche se vio disminuida a medida que se incrementó la cantidad de DDGS en la dieta. Sin embargo, LCE no tuvo efecto significativo. Estos autores atribuyen la menor producción de leche a que a medida que se incrementó la cantidad de DDGS disminuyó la frecuencia de ordeños por animal (2.8 a 2.63 ordeños / d) ya que se utilizó una unidad automática de ordeño.

La pasta de cacahuete generalmente no tiene un precio competitivo con la harina de algodón o pasta de soya. La ceniza, PC y nutrientes digestibles totales de la pasta de cacahuete (6.3, 52.3 y 77.0, respectivamente), es comparable a la harina de semilla de algodón extraída con solvente (7.0, 45.6, 76.0, respectivamente) y (6.5, 55.1, 87.0, respectivamente) para pasta de soya extraída con solvente. La pasta de cacahuete es aproximadamente un 13 % más baja en NDT que la pasta de soya, pero tiene un contenido de NDT similar y PC ligeramente más alto que la harina de semilla de algodón. Las comparaciones de pasta de cacahuete con pasta de soya revelaron mayores concentraciones de niacina, ácido pantoténico, riboflavina y tiamina en la pasta de cacahuete, pero menores concentraciones de los aminoácidos esenciales lisina, metionina y triptofano en la pasta de cacahuete en comparación con la pasta de soya (Hill, 2002).

La utilización de pasta de cacahuete ha tenido diferente respuesta entre los animales de la granja. En dietas para aves, cuando la pasta de cacahuete fue incorporada como fuente principal de proteína en pollos, fue necesario la suplementación con lisina, metionina y triptofano, siendo los dos primeros aminoácidos limitantes en la producción avícola (Cuca, 1978; Batal et al., 2005). En cerdos en crecimiento, la pasta de cacahuete fue sustituida por 30 y 50 % de pasta de soya en dietas estándar, sin causar efecto negativo en el comportamiento productivo. De igual forma, en ganado de engorda se ha notado que no existe diferencia al comparar la pasta de cacahuete con productos de alto valor biológico, lo cual parece ser favorable por el bajo costo de esta fuente de PC. Sin embargo, en ganado lechero no hay estudios sobre la utilización de este subproducto, ni de la posible respuesta del mismo a la inclusión (en reemplazo, total o parcial) en la producción y calidad de leche.

En un estudio enfocado a identificar el valor nutricional de harina de semilla de algodón, pasta de cacahuete, pasta de soya y una mezcla de partes iguales de los tres suplementos, se encontró que la digestibilidad de todos los nutrientes en las dietas donde se utilizó este suplemento, fue mayor comparado

con las que no se suplementó con alguno de estos tres ingredientes. La diferencia en digestibilidad entre las raciones con alguno de los suplementos fue mínima. La digestión aparente de la PC fue mayor en la ración que contenía pasta de cacahuate (50.7 %) mientras que la más baja fue la que contenía pasta de semilla de algodón (45 %). Los coeficientes de digestión de la proteína de la pasta de semilla de algodón, pasta de cacahuate, pasta de soya y la mezcla de suplementos fue de 77.2, 86.5, 81.4, 83.7, respectivamente. Sin embargo, al hacer esta comparación en base a la digestión verdadera del nitrógeno, los coeficientes fueron 89.2, 94.3, 91.3 y 92.6 % para pasta de semilla de algodón, pasta de cacahuate, pasta de soya y la mezcla de suplementos, respectivamente. La eficiencia de utilización de nitrógeno absorbido expresada como valor biológico fue de 73 para pasta de semilla de algodón, 68 para pasta de cacahuate, 71 para pasta de soya y 73 para la mezcla de suplementos, no encontrándose diferencias significativas entre las mismas (Gallup et al., 1946).

Por otra parte, un estudio realizado en Brasil con el objeto de evaluar si la pasta de cacahuate puede ser un potencial sustituto de la pasta de soya en la alimentación de novillos Holstein x Cebú, al estimar la digestibilidad de los nutrientes, consumo de materia seca (CMS), fermentación ruminal, metabolitos y energía; se obtuvo que reemplazando un 40 % de pasta de soya con pasta de cacahuate se incrementó el contenido energético de la dieta debido al contenido de extracto etéreo, la fermentación ruminal y el perfil de metabolitos se mantiene similar. Debido a esto sostienen que debido a este aumento calórico de la dieta y la disponibilidad de este subproducto se pueden reducir los costos de alimentación. Además estos autores sostienen que el uso de fuentes proteicas con diferente tasa de degradación promueve la fermentación de aminoácidos y péptidos a niveles que permiten una mayor asimilación de nitrógeno constante por los microorganismos ruminales. Al evitar picos de amoníaco permite una mejor sincronización entre la liberación de energía y nitrógeno, incrementando así, la eficiencia en el uso de nitrógeno y la fermentación de la materia seca (Oliveira et al., 2016).

Otro subproducto del cacahuate es la testa del mismo, la cual no se produce en grandes cantidades pero puede utilizarse como ingrediente en dietas de bovinos, a pesar de su contenido de taninos, esto no es considerado un factor detrimental aun cuando en cerdos de finalización el crecimiento se redujo en las dietas que contenían entre 10 y 20 % de este subproducto. Sin embargo, al alimentar novillos con dietas a más del 10 % de este alimento, el comportamiento no se vio afectado, en cambio en hembras hubo un decremento en la ganancia diaria de peso, todas sin diferencias significativas en el CMS. Al utilizar testa de cacahuate en producción de ganado lechero, en dietas con alrededor de 17 % PC en mezcla de concentrado, alfalfa y ensilajes en orden de 0 a 24 % de MS; la producción de leche se vio incrementada a medida que se incluía testa de cacahuate en la dieta comparadas con el control y el porcentaje de grasa incrementó cuando los niveles de testa de cacahuate se incluyeron arriba de 16 % (Hill, 2002).

Efecto de la fuente de proteína sobre composición de leche

Estudios realizados por Martineau et al. (2013) donde determinaron el efecto de sustitución de cualquier fuente de proteína por CM, a partir de un análisis de 49 comparaciones de dietas procedentes de 27 estudios y donde el consumo de canola fue de 1 a 4 kg / d, reportaron que la respuesta en la concentración de la proteína de la leche fue positiva incrementándose 0.034 % en dietas donde la CM fue suministrada al 17.2 %. La concentración de grasa en la dieta no respondió a la inclusión de CM, los autores asociaron esta respuesta negativa a cambios en el contenido de EE de la dieta, lo cual es atribuible a posibles alteraciones en la biohidrogenación ruminal de ácidos grasos poliinsaturados. La concentración de lactosa mostró un comportamiento negativo significativo, decreciendo a razón del 0.038 % en las dietas donde se ofreció CM al 17.7 de la MS. El rendimiento de proteína y grasa incrementaron positivamente, con los niveles de inclusión más altos (17.2 %) de CM este rendimiento fue de 45 y 28 g / vaca, respectivamente. La respuesta positiva en rendimiento de proteína fue asociada principalmente al incremento mostrado en la producción de leche y a la concentración de proteína en la leche. Cabe

señalar que esta respuesta positiva en concentración de proteína y rendimiento de proteína en la leche se dio cuando la CM fue comparada con fuentes de proteína vegetal diferentes a pasta de soya. En cuanto al rendimiento de proteína éste fue dos veces más alto en dietas donde se utilizó otra fuente diferente a pasta de soya. De igual forma, la respuesta negativa en concentración de lactosa se dio en estudios donde se comparó la CM con fuentes que no fueran pasta de soya.

En otro meta análisis realizado por Huhtanen et al., (2011) donde se evaluó CM o pasta de soya, adicionando una variable que describía si la CM sufrió algún tratamiento de calor y de igual manera una fuente alterna de pasta de soya combinada con harina de pescado. Se reportó que la concentración de grasa en la leche fue similar entre las fuentes de proteína, el efecto sobre la concentración de proteína en leche fue más alta cuando se utilizó pasta de soya, especialmente con pasta de soya en combinación con harina de pescado comparado con dietas con TCM. El rendimiento de proteína en leche fue mayor en dietas a base de CM en comparación con aquellas a base de pasta de soya. Datos similares al estudio de Huhtanen et al. (2011) fueron reportados por Dewhurst et al. (1999) donde evaluaron dietas a base de ensilaje de pasto que contenían CM o una mezcla de pasta de soya con harina de pescado durante los dos primeros tercios de lactación. En este estudio el rendimiento de proteína tendió a ser mayor en dietas a base de CM, sin embargo, la concentración de proteína fue más baja en este tratamiento.

Al comparar TCM con CM sin tratar y pasta de soya (Paula et al., 2017) no se observó efecto de la fuente de proteína sobre la concentración y rendimiento de proteína, grasa y sólidos no grasos. Sin embargo, las dietas a base de CM incrementaron la concentración de grasa en la leche. En otro estudio similar, en el cual se evaluó el efecto de TCM sobre pasta de soya, se reportó que no hubo efecto en la concentración en leche de proteína, grasa y lactosa, mientras que el rendimiento de proteína en leche fue significativamente mayor en dietas a base de CM, el rendimiento de lactosa y grasa fue similar

ente las los dos tipos de fuentes de proteína. Algunos autores como Huhtanen y Hristov (2009) sostienen que el efecto de disminuir la degradabilidad de proteína en rumen tiene poco efecto en la producción de proteína y producción de leche del que generalmente se le brinda. En su estudio, estos autores demostraron que los nutrientes digeribles totales y el consumo de PC predecían el rendimiento de proteína en leche acertadamente, pero al incluir la degradabilidad de la PC en el modelo la predicción mejoró poco. Además, señalan que la poca respuesta a la PNDR en algunos estudios puede estar relacionada a baja degradabilidad intestinal y a un decremento en el flujo de proteína microbiana al intestino delgado.

La composición de la leche fue poco afectada por la utilización de granos de destilería con solubles (DDGS), a menos que no se considerara las guías de formulación de raciones como suplementar con suficientes cantidades de fibra efectiva. En tal caso, la concentración de grasa en leche ha sido menor en dietas con menos del 50 % de forraje, o bien en dietas con menos de 22 % de FDN proveniente de forraje (Kalscheur, 2005). Tal depresión en la concentración de grasa en leche a menudo es asociada con las cantidades de FDN (38 a 40 %) que contienen los DDGS que pueden bajar la cantidad de forraje de la dieta suponiendo que la cantidad de FDN es suplida por otros ingredientes. Sin embargo, el pequeño tamaño de partícula de los DDGS sugiere que la cantidad de fibra efectiva no es suficiente como para reemplazar a las del forraje.

La concentración de proteína de la leche es raramente afectada por los DDGS a menos que la PC sea limitada. Sin embargo, la limitación de lisina en los DDGS puede causar leve disminución en la concentración de proteína (Nichols et al., 1998; Kleinschmit et al., 2007). Este efecto es más notable en dietas que contienen más del 30 % de DDGS (Kalscheur, 2005), reflejando altos contenidos de PNDR más un bajo contenido de lisina. Al contrario, en un meta análisis realizado por Kalscheur (2005) se ha encontrado concentraciones ligeramente más altas de proteínas en la leche cuando se suplementaba DDGS

en combinación con alfalfa más ensilaje de maíz, en comparación con cada uno de ellos por separado, pero el rendimiento de proteína fue similar para todas las combinaciones. Por otro lado, Kleinschmit et al. (2007) no observaron diferencias en la concentración y rendimiento de proteínas en leche al suplementar con 15 % de DDGS cuando el forraje varió de alfalfa a ensilaje de maíz. Sin embargo, el balance de aminoácidos mejoró con la mezcla de DDGS más alfalfa, por lo que sugiere mejorar la cantidad de aminoácidos en comparación en las dietas a base de maíz que son, al igual que los DDGS, deficientes en lisina.

En estudios donde se midió la concentración y rendimiento de grasa en leche en vacas alimentadas con DDGS, se reportó que la concentración promedió 4.07 % para vacas Holstein y Pardo Suizo, con las concentraciones más bajas cuando se dio en el pico de producción y las concentraciones más altas en el último tercio de la lactación (Mpapho et al., 2006). Pamp et al., (2006) observó que la grasa de la leche promedió 3.6 % para vacas Holsteins en el segundo tercio de lactación y Kleinschmit et al., (2007) observó una concentración de 3.72 % de grasa en el último tercio de la lactación.

Aunque en la mayoría de los estudios se alimenta a los animales con DDGS con alto contenido de materia seca, utilizar granos de destilería en húmedo también afecta la composición de la leche. En un estudio realizado por Schingoethe et al., (1999) donde evaluó la respuesta del ganado lechero a la inclusión de granos de destilería húmedos (30 % MS) en dietas a base de ensilaje de maíz y heno de alfalfa y una mezcla de concentrados que contenían mayormente GD húmedos en un 31.2 % y maíz o pasta de soya en 19.2 %, se reportó que la concentración de grasa en la leche fue mayor en el tratamiento donde se utilizó GD húmedos, asociado principalmente al más alto contenido de extracto etéreo en la dieta con GD. Además, estos autores sostienen que al utilizar GD húmedos se ve comprometida la disponibilidad de la PC, sin embargo, la digestión aparente fue mayor y la producción de amoníaco menor.

Se han realizado estudios recientes por Gaillard et al. sobre la utilización de DDGS, a base maíz (2017a) o a base de otros granos (2017b), en sustitución de pasta de soya o harina de canola. En el primer estudio, se determinó el efecto de la utilización de DDGS de maíz en comparación con una mezcla de CM y pasta de soya bajo dos niveles de PC en la dieta; los resultados demostraron que, independientemente del nivel de inclusión de cualquiera de las dos fuentes de proteína, la concentración y rendimiento de proteína y grasa de la leche no fueron diferentes entre los tratamientos, promediando concentraciones de 4.53 % y 4.61 % en grasa de la leche para la mezcla de pasta de soya con CM y DDGS, respectivamente, al mismo tiempo los valores de proteína en leche fueron de 3.59 % y 3.60 %. Sin embargo, tanto la fuente de proteína y el nivel de PC en la dieta afectaron la concentración de ácidos grasos. La concentración de ácidos de cadena de 11 a 17 carbonos fue más baja para dietas a base de DDGS, mientras que para ácidos grasos de 18 carbonos y ácidos linoléicos conjugados de 9 y 11 carbonos fue mayor en dietas en las que se utilizó DDGS, observando que en estas dietas el incremento fue de hasta un 20 % de estos últimos. En el segundo estudio, a través de la sustitución de una mezcla de concentrado (a base de CM, pasta de soya y pulpa de remolacha) por DDGS a base de granos incluyendo maíz a una tasa de 4, 13.5 y 23 % se encontró que no hubo efecto de las dietas en la concentración de grasa de la leche, el rendimiento de proteína fue similar en las dietas donde se incluyó DDGS al 4 y 13.5 % pero disminuyó en la dieta de 23 %, sin embargo, la concentración de proteína disminuyó a medida que se incrementaba el uso de DDGS en las dietas. Al igual que el estudio anterior, la concentración de ácido linoléico conjugado fue mayor en las dietas donde se utilizó DDGS; la concentración de ácidos de 4 a 14 y 16 carbonos no fueron afectados por el nivel de DDGS en la dieta.

De igual manera, Mulrooney et al. (2009) en un estudio para determinar la respuesta en producción y calidad de leche en dietas a base de CM en reemplazo total o parcial de DDGS en tasas de 100, 66, 33 y 0 %, reportaron que la concentración de proteína, grasa, lactosa y el rendimiento de grasa (1.37

kg/d) en leche fue similar entre las dietas, mientras que el rendimiento de proteína tendió a ser mayor a medida que se incrementaban las cantidades de CM en la dieta.

Efecto de la fuente de proteína sobre nitrógeno ureico en sangre y leche

La composición de la dieta y estrategias nutricionales son herramientas válidas para manipular la composición de la leche. Algunos componentes, como lactosa, son menos variables que otros, por ejemplo grasa, proteína y NUL que poseen una respuesta más evidente a la composición de la dieta (Jenkins y McGuire, 2006).

Monitorear los niveles de nitrógeno ureico en sangre (NUS) y nitrógeno ureico en leche (NUL) es una práctica que se ha utilizado para medir el estatus de la proteína y energía a través de mediciones en muestras biológicas obtenidas en diferentes etapas de la producción o cuando se da un cambio en algún aspecto de la misma. Estos indicadores deben utilizarse en conjunto con ganancias de peso y cambios en la condición corporal, para que reflejen integralmente los efectos de la nutrición en las etapas fisiológicas de la vaca lechera. La determinación de NUL es una herramienta menos invasiva que permite saber que tan eficientemente se están utilizando los compuestos nitrogenados y como es la concentración de los mismos en la sangre. Diversos estudios han demostrado una fuerte asociación entre NUL y NUS ($R^2=0.84$) en vacas lecheras (Broderick y Clayton, 1997; Nousiainen et al., 2004). Cuando existe una deficiencia de proteína en la dieta, las concentraciones de amoníaco ruminal son relativamente bajas y la proporción de nitrógeno reciclado al rumen en forma de urea incrementa. Como resultado de estas transacciones metabólicas, NUS está altamente correlacionado con la concentración de amoníaco ruminal y NUL está altamente correlacionado NUS. Por lo tanto, en rumiantes saludables, las concentraciones de NUL y NUS son indicativos de la relación proteína:energía en la dieta.

El NUL y NUS se ven afectados principalmente por la concentración de PC en la dieta en vez de la fuente de la misma. Cuando el consumo de energía

se mantiene constante, incrementar la proteína de la dieta incrementó los niveles de NUS. Un estudio realizado por Hammond (1983) mostró que los valores de NUS incrementaron de 2.6 mg/dL a 11.1 mg/dL a medida que el contenido de PC de la dieta incrementó de 6 a 18 %, al alimentar las vacas con dietas isocalóricas bajo tres niveles de PC y manteniendo constante el CMS. En novillos en crecimiento, los niveles de NUS entre 11 y 15 mg/dL fueron asociados a mejores ganancias de peso (Byers y Moxon, 1980), en cambio, valores de 7 a 8 mg/dL mostraron mejor rendimiento en animales en finalización. En ganado lechero, la concentración de NUL incrementó a medida se incrementó la PC de la dieta (14.1 a 18.1 % PC) al suministrar raciones con una relación forraje:concentrado de 65:35. En este estudio los valores de NUL promediaron 1.08 g/d más en dietas con 18.1 % de PC en comparación con las vacas que fueron alimentadas con 14.1 % de PC (Hynes et al., 2016). En dietas balanceadas para vacas lecheras, un desbalance entre la proteína degradable (PDR) y no degradable en rumen (PNDR) puede causar un aumento de NUS y NUL (Roseler et al., 1993), donde en dietas con un correcto balance fueron asociadas a NUS de 15 mg/dL. Sin embargo, un incremento en NUS y NUL causado por el desbalance de PDR y PNDR no es tan significativo como el causado por el exceso de proteína en la dieta (Baker et al., 1995).

En dietas suplementadas con GD, lo más altos niveles de NUS fueron asociados con las concentraciones más bajas de carbohidratos no estructurales, pero contrastado con las concentraciones de amoníaco más bajas. Estos altos niveles de NUS indican que la proteína, derivada del alimento o microbiana, fue absorbida y luego desaminada ya que el contenido de PC de los GD húmedos tuvieron menor degradabilidad ruminal que en dietas control. También, este hecho puede ser debido a que la PC de los tratamientos donde se utilizó GD húmedos se incorporó a proteína microbiana más rápidamente que en la dieta control (Schingoethe et al., 1999).

La utilización de DDGS reducidos en grasa en comparación con dietas sin DDGS resultó en mayor contenido de NUL. Con el fin de evaluar DDGS con

bajo contenido de EE, se realizó un estudio en que se suplementó a vacas Holstein con cuatro tratamientos los cuales consistieron en: una dieta control que contenía 6 % de harina de soya, una dieta con 30 % de DDGS (12 % EE), una dieta el contenía 30 % de DDGS reducidos en EE (6.6 %) y una última dieta con 30 % de DDGS con 6.6 % EE adicionando 2 % de grasa de sobrepaso o grasa inerte en rumen. Los resultados mostraron que la concentración de NUL entre los últimos dos tratamientos no fue diferente entre sí, mientras que la concentración de estos dos fue mayor a la concentración de la dieta control y el tratamiento con DDGS al 12 % EE. Los tratamientos con DDGS reducidos en EE promediaron 16.1 ± 0.35 mg/dL, mientras que los otros dos tratamientos promediaron 15.3 ± 0.35 mg/dL (Ramirez-Ramirez et al., 2016). En otro estudio, donde se evaluó la inclusión de DDGS en sustitución de harina de canola a tasas de 0, 33, 66 y 100 %, los valores de NUL tuvieron un rango de 7.10 a 7.25 mg/dL, en donde se observó una tendencia cuadrática a medida que se incrementaba la proporción de DDGS en la dieta. Estos bajos valores de NUL fueron asociados a una deficiencia de PC en la dieta (15 %), la cual fue formulada intencionalmente para poder encontrar respuesta marcadas en el cambio de la fuente de proteína (Mulrooney et al., 2009).

Por otra parte, en un estudio realizado por Pereira et al. (2015), con el fin de sustituir DDGS y aminoácidos protegidos en rumen por pasta de soya, se suministró a las vacas dos dietas: una dieta control con 15.6 % de PC y 169 g/d de proteína metabolizable utilizando pasta de soya más metionina protegida en rumen y una dieta con 13.6 % de PC y -59 g/d de proteína metabolizable utilizando DDGS mas lisina y metionina protegida en rumen, observándose diferencia significativa entre los tratamientos. El tratamiento control promedió 9.88 mg/dL y el tratamiento con DDGS 6.39 mg/dL. Al considerar valores óptimos de NUL de 8.5 a 11.5 mg/dL (Kohn et al., 2002) en este estudio los niveles en la dieta con la que se utilizó DDGS presentaron valores debajo de rango, tomando en cuenta de que en este tratamiento la PC era menor que el tratamiento control.

Al comparar CM tratada con calor o no, en reemplazo de pasta de soya se ha encontrado que la concentración de NUL en las dietas donde se ofreció CM decreció 8 % en comparación con las dietas que contenían pasta de soya, existiendo una mejor utilización del nitrógeno en las dietas a base de CM. Tal reducción en NUL fue asociada al incremento en la concentración de aminoácidos de cadena ramificada (Paula et al., 2017). Appuhamy et al. (2011) reportaron que la infusión de 60 g/d de aminoácidos de cadena ramificada no incrementó la eficiencia en la utilización de la proteína, pero redujo los niveles de NUL, especulando que estos aminoácidos promueven la síntesis de proteína en otros tejidos corporales en lugar del aumento en el catabolismo de aminoácidos. Al mismo tiempo, Shingfield et al. (2003) observaron una reducción en NUS y un incremento en los niveles de histidina, aminoácidos esenciales y aminoácidos de cadena ramificada en vacas alimentadas con una tipo de CM tratada con calor en comparación con pasta de soya.

Estudios anteriores han demostrado que la proteína de CM se utiliza de manera más eficiente que la de pasta de soya. Broderick et al. (2015) reportaron que en la mayoría de los estudios CM reemplaza a pasta de soya bajo un mismo nivel de proteína y que a pesar de la diferencia en la tasa de degradabilidad ruminal de CM frente a pasta de soya (10.4 %/h y 4.5 %/h, respectivamente) el gran contenido de la fracción B y C de la proteína de la CM hace que el estimado de la PNDR y PM sea similar entre ambas fuentes. Además estos autores sostienen que a menudo el ganado responde a la suplementación de metionina y este aminoácido está en mayor concentración en CM que en la pasta de soya; por lo cual se evaluó el uso de estas dos fuentes de proteína, incluidas a dos niveles de PC en la dieta y con la inclusión de lisina y metionina protegida en rumen. El estudio reveló que las concentraciones de NUL fueron menor en las dietas que contenían CM en comparación a las que contenían pasta de soya (11.5 y 10.3 mg/dL, respectivamente), mostrando este mismo comportamiento cuando a las dietas fue agregada lisina y metionina en el rumen, esto explicado por la ausencia de interacción entre la inclusión de estos suplementos en cada fuente de proteína.

Además de las dietas mencionadas anteriormente, una dieta en combinación de pasta de soya y CM fue elaborada con la finalidad de compararse con cada fuente cuando fue utilizada sola en la dieta. En este segundo análisis se reportó que los valores de NUL fueron mayores (9.9 mg/dL) cuando se utilizó pasta de soya en comparación con la mezcla de fuentes de proteína y esta última con concentraciones mayores (9.5 mg/dL) al compararla con las dietas donde sólo se utilizó CM (8.7 mg/dL).

Recientemente, con el objetivo de evaluar la adición de harina de algodón en reemplazo de pasta de soya, Imaizumi et al. (2016) suministraron tres dietas en donde la pasta de soya fue sustituida por harina de algodón a tasa de 0, 15 y 30 % de MS de la dieta. Los niveles de NUL fueron incrementando a medida se incluía la harina de algodón en la dieta, promediando 12.3, 12.9 y 14.4 mg / dL, respectivamente. Además, se mostró una tendencia cuadrática para esta variable y fue significativa la diferencia entre el uso o no de harina de algodón. Los niveles de NUS mostraron una tendencia lineal positiva y de igual manera las medias fueron diferentes entre los tratamientos que contenían harina de algodón y los que no, siendo menores en dietas con pasta de soya, similar al comportamiento de NUL.

No se encontraron estudios donde se mencione como afecta la inclusión de pasta de cacahuate en las dietas para vacas lecheras, referente a las concentraciones de NUL y NUS. En un estudio realizado en Brasil con el objetivo de evaluar si la pasta de cacahuate puede ser un potencial sustituto de la pasta de soya en la alimentación de novillos Holstein x Cebú, al estimar digestibilidad de los nutrientes, CMS, fermentación ruminal, metabolitos y energía; se obtuvo que reemplazando un 40 % de pasta de soya con pasta de cacahuate se incrementa el contenido energético de la dieta debido al alto contenido de extracto etéreo, la fermentación ruminal y el perfil de metabolitos se mantiene similar. Las medias de las concentraciones de NUS fueron de 11.4, 12.4, 11.7, 12.2 y 10.6 mg/dL para los tratamientos donde se sustituyó pasta de soya por pasta de cacahuate a 0, 25, 50, 75 y 100 % de la MS.

Metabolismo ruminal de compuestos nitrogenados

El metabolismo del nitrógeno a nivel ruminal puede ser dividido en dos grandes tipos de reacciones: reacciones de degradación de la proteína que proveen nitrógeno para los microorganismos y las reacciones de síntesis de proteínas. La proteína consumida por un bovino se puede caracterizar según el grado de solubilidad que tenga en el rumen y por el grado de degradabilidad que tenga por los microorganismos del mismo. En general, las proteínas solubles son rápidamente degradables que aquella que son insolubles, sin embargo la solubilidad no es una garantía de degradabilidad (Chalupa, 1982); por ejemplo: algunas prolaminas y glutelinas son insolubles y lentamente degradables (Romagnolo et al., 1994). Algunas proteínas como albúmina sérica, ovoalbúmina, extracto de proteínas de cloroplastos y la proteína soluble de soya y pasta de canola son degradadas a diferente grado (Leng y Nolan, 1984). Proteínas sin el grupo amino terminal o carboxilo libre son degradadas en menor grado, por ser menos accesibles a las enzimas proteolíticas (Bach et al., 2004).

El grado de degradabilidad está en función de la tasa de proteólisis y del tiempo de retención del rumen. En el esquema propuesto por Pichard y Van Soest (1977) se divide esta degradabilidad en cuatro tipos. La fracción A es el nitrógeno no proteico soluble en agua como nitrato, amoníaco, aminos y aminoácidos libres; esta fracción es degradada rápida y completamente. La fracción B es proteína insoluble que puede ser degradada en menor medida (B1, misma que es afectada principalmente por la tasa de recambio de MS) o a un ritmo menos acelerado (B2). La fracción C contiene nitrógeno que no es disponible ya sea por naturaleza del alimento o por daños por calor.

Sin embargo, dentro de la tasa de proteólisis y el tiempo de retención de MS en el rumen se pueden especificar a detalle otros factores que están relacionados con la degradabilidad ruminal de los compuestos nitrogenados. Dentro de ellos están: el tipo de proteína, interacción con otros nutrientes (entre alimentos y del mismo con el ambiente ruminal) y la población microbiana

dominante la cual depende directamente del tipo de ración, tasa de pasaje y pH ruminal (Bach et al., 2004).

El tipo de estructura juega un papel importante en la degradabilidad ruminal de la proteína. Algunas albuminas son solubles pero contiene enlaces disulfuro, lo cual desacelera su degradación en el rumen. Algunos péptidos con leucina en el extremo del grupo N terminal en pasta de soya son bastante resistentes a la degradación ruminal. (Schwingel y Bates, 1996). Dipéptidos específicos, por ejemplo lisina-prolina, son hidrolizados en el rumen cinco veces más lento que los lisina-alanina y los dipéptidos formados por prolina-metionina son degradados 2.5 veces más lento que los formados por metionina-alanina (Yang y Russell, 1992).

La degradación ruminal de compuestos nitrogenados depende del pH. El pH óptimo para la acción de las enzimas proteolíticas puede variar entre 5.5 a 7.0 (Kopečný y Wallace 1982). Estudios realizados por Cardozo et al. (2002) donde compararon dietas a base de forraje en comparación a dietas altas en concentrados demostraron que la degradación ruminal de proteínas se vio reducida a medida disminuía el pH (rango 4.9 - 7.0). Concluyeron que la degradación de la proteína se vio afectada por el tipo de sustrato, siendo menor al alimentar con concentrados, independientemente del pH.

La combinación entre tipo de sustrato y pH brinda una explicación de la población microbiana en el rumen debido a la interacción que existe entre nutrientes. Asssoumani et al. (1992) demostraron que el almidón interfiere con la degradación proteica al agregar amilasas en la degradación de proteína de granos, viéndose favorecida la última al adicionar amilasas en un rango de 6 a 20 unidades porcentuales, lo que demuestra que la degradación proteica requiere la combinación sinérgica de enzimas proteolíticas y no proteolíticas. Esto implica que la reducción de bacterias celulíticas, como consecuencia de bajos niveles de pH, lleva a una reducción en la degradación de fibra, reduciendo el acceso de bacterias proteolíticas a proteínas y por ende, disminuyendo la degradación ruminal de las mismas.

De esta manera, es conocido que diversos grupos de bacterias actúan en sinergia para poder extraer y fermentar nutrientes de los alimentos. Inclusive, dentro de las bacterias proteolíticas, distintos grupos de éstas llevan a cabo reacciones en conjunto debido a la variabilidad de enlaces existentes en las proteínas. Aproximadamente 70 a 80 % de los microorganismos ruminales se adhieren a partículas del alimento (Craig et al., 1987) y alrededor 30 a 50 % tienen actividad proteolítica (Prins et al., 1983).

Los péptidos y AA resultantes de la acción extracelular de las enzimas proteolíticas son transportados al interior de las células microbianas para ser incorporados a su proteína o para ser desaminados y transformados en ácidos grasos volátiles, CO₂ o amoníaco. El destino de los péptidos y aminoácidos absorbidos por la célula microbiana es dependiente de la disponibilidad de energía de la célula. Si la energía es disponible, los AA son transaminados y utilizados en la síntesis de proteína microbiana, en caso contrario, los AA son desaminados y los esqueletos carbonatados son fermentados en ácidos grasos volátiles. Algunas bacterias carecen de mecanismos de transporte de AA del citoplasma al exterior de la célula, en su defecto el exceso de N es excretado en forma de amoníaco (Taminga, 1979).

El nitrógeno no proteico de la dieta, el nitrógeno contenido en la saliva y la cantidad de urea entrando a través de la pared ruminal es convertido a amoníaco. El amoníaco desaparece irreversiblemente de líquido ruminal mediante incorporación a las células microbianas que salen del rumen, por absorción mediante las paredes ruminales y líquido ruminal saliendo del rumen. La cantidad de amoníaco que puede ser utilizado por los microorganismos depende de la población bacteriana y su tasa de crecimiento, por lo tanto depende de la cantidad de energía disponible para el microorganismo o la cantidad de alimento fermentable en rumen (Satter y Roffler, 1974). Cuando la PDR excede la cantidad que requieren los microorganismos, la proteína es degradada hasta amoníaco, el cual es absorbido por la paredes ruminales y metabolizado a urea o utilizado en la síntesis de aminoácidos no esenciales en

el hígado (Rose y Dekker, 1956) y se excreta en la orina (Tamminga, 1996). Aparte de ingresar a través del epitelio de la pared ruminal, la urea se recicla y entra al rumen a través de la saliva, donde mediante enzimas ureasas es hidrolizada a amoníaco por parte de los microorganismos ruminales.

Debido a que el NH_3 no tiene un valor nutricional para el animal los microorganismos ruminales lo utilizan para la síntesis de proteínas, uno de los factores más determinantes en este proceso es la cantidad de energía disponible que usualmente es medida como la cantidad de materia orgánica fermentada en el rumen. La concentración de NH_3 ruminal puede ser incorporado a N microbial de un 23 a 95 %, y depende directamente de la dieta y de las especies de microorganismos predominantes en el rumen (Nolan y Dobos, 2005). Así, la incorporación del N proveniente de la urea endógena reciclada, se realiza en una menor tasa y puede ser mayor cuando las concentraciones de N proveniente de la dieta o la concentraciones de NH_3 se vean reducidas (Firkins et al., 2007). Sin embargo, estudios anteriores (Russell et al., 1983) demuestran que el 66 % de la proteína de algunos microorganismos (fermentadores de compuestos no nitrogenados) derivaba principalmente de aminoácidos y péptidos y el resto de nitrógeno amoniacal. Bajo este supuesto y asumiendo que las bacterias transforman péptidos disponibles con una eficiencia del 80 % (Russell et al., 1983), para maximizar la síntesis proteica es necesario 1.2 g de N proveniente de péptidos por kg de materia orgánica fermentada en el rumen, sin embargo, esto no aplica para todas las raciones, ya que Firkins et al. (1987) reportaron una relación negativa entre la concentración de NH_3 en el rumen y el porcentaje de proteína microbiana derivado de nitrógeno no proteico, concluyendo que la acumulación de NH_3 en el rumen es el resultado del uso preferencial de los microorganismos de AA y péptidos.

Los aminoácidos producidos por los microorganismos ruminales pueden sintetizarse con mayor dificultad que otros, por lo que se cree que aminoácidos como fenilalanina, leucina e isoleucina son sintetizados con mayor dificultad,

además, se ha propuesto que lisina es un aminoácido limitante en el crecimiento microbial (Atasoglu et al., 2004).

Además de la cantidad de péptidos y aminoácidos disponibles para la síntesis de proteína microbiana, algunos factores como el pH y la tasa de dilución juegan un papel importante en la síntesis de la misma. Cuando la cantidad de materia orgánica fermentada incrementa, la cantidad de proteína microbiana también incrementa. Sin embargo, resultado de la alta fermentación de materia orgánica el pH disminuye por lo que existe una relación negativa entre el pH ruminal y el flujo de nitrógeno microbiano (Hoover y Stokes, 1991).

La evaluación más común de la eficiencia con que crecen los microorganismos ruminales es a través de la determinación de los gramos de nitrógeno microbiano por unidad de energía disponible en el rumen, expresada como materia orgánica fermentada, ya que se considera que la disponibilidad de energía es el factor más limitante del crecimiento microbiano; este indicador brinda una idea de cómo se está utilizando la energía a nivel ruminal. Por otro lado, la eficiencia en la utilización de nitrógeno brinda información de cómo se está utilizando el nitrógeno disponible. Así, cuando se grafican estas dos eficiencias en un mismo plano se obtiene una relación cuadrática con una óptima eficiencia de crecimiento a una eficiencia de síntesis de proteína microbiana de 29 g de N microbiano por kg de materia orgánica fermentada y una eficiencia de utilización de nitrógeno de 69 g de N microbiano por 100 g de nitrógeno disponible. Lo anterior implica que las bacterias serían capaces de capturar el 69 % del nitrógeno disponible y producir 29 g de N microbiano por kg de materia orgánica fermentada bajo condiciones óptimas (Bach et al., 2004).

Rutas de metabolismo y utilización del nitrógeno

Los aminoácidos disponibles para un organismo pueden venir de dos vías: los aminoácidos que quedan libres cuando se da el recambio de proteína en tejidos y los que se ingieren en la dieta. El destino metabólico de las proteínas de la dieta dependerá del consumo de energía. Un aumento de ésta

permitirá la conservación de proteínas, en cambio, una disminución en el aporte calórico resultará en la degradación proteica (Baynes y Dominiczak, 2006).

Todas las vías de degradación proteica involucran una etapa importante que es la separación del grupo amino del esqueleto carbonatado del aminoácido. Todos los tejidos producen amoníaco (NH_3) por el catabolismo de los aminoácidos. El NH_3 es altamente tóxico sobre todo para el sistema nervioso, pero existen mecanismos de detoxificación que lo eliminan o lo convierten en metabolitos no tóxicos. En condiciones normales, la concentración de amoníaco se mantiene baja en la sangre periférica, pero aumenta considerablemente en patologías hepáticas (Martinov et al., 2000).

Los procesos de degradación proteica pueden darse por este tipo de reacciones: transaminación, desaminación oxidativa, síntesis de glutamina, alanina y urea.

Transaminación: El grupo amino de los aminoácidos se elimina por reacciones de transaminación, catalizadas por enzimas denominadas aminotransferasas o transaminasas. Este grupo de enzimas son muy importantes en los procesos de degradación y también en la síntesis de aminoácidos. Existe aproximadamente una enzima transaminasa por cada aminoácido, usan como cofactor el peridoxal fosfato, derivado de la vitamina B_6 y actúan coordinadamente con la enzima glutamato deshidrogenasa, el ciclo de Krebs y el ciclo de la urea. En estas reacciones, el grupo α -amino de un aminoácido se transfiere al grupo carbonilo de un α -cetoácido. Como consecuencia, el aminoácido donador del grupo amino se convierte en un α -cetoácido, y el α -cetoácido aceptor del grupo amino se transforma en un aminoácido. Existen dos transaminasas de importancia: las glutamato oxalacetato transaminasa o GOT (conocida como aspartato aminotransfera o AST) y la glutamato piruvato transaminasa o GPT (también denominada ALT o alanina aminotransferasa).

Sólo tres α -cetoácidos pueden actuar como aceptores de grupos amino en este tipo de reacciones: el α -cetoglutarato, el piruvato y el oxalacetato, dando como producto glutamato, alanina, y aspartato, respectivamente. De estos tres α -cetoácidos, el más importante cuantitativamente es el α -cetoglutarato, de manera tal que el grupo amino de la mayoría de los aminoácidos termina formando glutamato (Feduchi, 2015).

Desaminación oxidativa. El producto más abundante que resulta de las reacciones de transaminación es el glutamato. Este a su vez, es capaz de perder su grupo amino por una reacción de desaminación oxidativa catalizada por la glutamato deshidrogenasa. Esta enzima está altamente expresada en el hígado y se localiza en la matriz mitocondrial. Utiliza NAD^+ o NADP^+ como cofactor que se reduce durante la reacción. El glutamato pierde el grupo amino y el carbono α se oxida a carbonilo, dando α -cetoglutarato como producto y libera un ion amonio.

La glutamato deshidrogenasa es una enzima alostérica sujeta a control inhibitorio por GTP (y ATP) y estimulatorio por ADP (y GDP). De esta forma, cuando los aminoácidos son necesarios para la producción de energía, la actividad de la enzima aumenta y, por el contrario, cuando los niveles de nucleótidos trifosfatos son altos, su actividad disminuye. La reacción de la glutamato deshidrogenasa es reversible y el sentido de la misma depende de la concentración de reactivos y productos. Por lo tanto, la enzima forma parte tanto de la degradación de aminoácidos como de su biosíntesis, dado que el glutamato puede participar en reacciones de transaminación. La acción combinada de transaminasas y la glutamato deshidrogenasa se conoce como transdesaminación (Murray et al., 2010).

El ion amonio que se produce en la desaminación oxidativa se puede fijar de algunas maneras para que su toxicidad no afecte células de algunos tejidos, algunos muy susceptibles como células cerebrales y el sistema nervioso central. Estas reacciones de fijación son:

Síntesis de glutamato: La reacción de la glutamato deshidrogenasa es reversible y la enzima forma parte no sólo de la degradación de los aminoácidos, sino también de su biosíntesis. De esta forma, es posible sintetizar glutamato a partir de α -cetoglutarato, incorporando amonio y oxidando NADPH o NADH.

Síntesis de glutamina: La síntesis de glutamina a partir de glutamato es catalizada por la enzima glutamina sintetasa, que se localiza a nivel mitocondrial. La glutamina es una forma temporaria de transporte de amoníaco en condiciones no tóxicas, y dado que es una molécula neutra, atraviesa con mayor facilidad las membranas que el glutamato. Y una de sus funciones importantes es ruptura con liberación de glutamato y amonio en riñón. Esta reacción es catalizada por la glutaminasa.

Síntesis de alanina: En el músculo, se forma alanina a partir de piruvato y glutamato en una reacción catalizada por la enzima alanina amino transferasa (ALT). La alanina así sintetizada llega por la sangre al hígado donde se utiliza como precursor en la gluconeogénesis.

Síntesis de urea: La síntesis de urea se da a través del ciclo de la urea. En la primera reacción de este ciclo, el amonio se combina con bicarbonato para formar carbamoil-fosfato, con consumo de 2 uniones fosfato de alta energía. Esta reacción es catalizada por la enzima carbamoil-fosfato sintetasa I que se encuentra en la matriz mitocondrial (la carbamoil-fosfato sintetasa II es citosólica y participa en la síntesis de novo de pirimidinas) y cataliza el paso limitante de esta vía. A continuación el carbamoil-fosfato cede su grupo carbamilo ($\text{NH}_2\text{—CO}$) a la ornitina, para formar citrulina y liberar fosfato. Esta reacción es catalizada por la enzima ornitina carbamoil transferasa. La citrulina, se transloca al citosol. Allí, se incorpora un segundo grupo amino proveniente del aspartato, en una reacción catalizada por la arginino-succinato sintetasa, dando origen al arginino-succinato. El aspartato se forma en la mitocondria por transaminación del oxalacetato en una reacción catalizada por la aspartato aminotransferasa (AST), siendo el glutamato el dador del grupo amino. Ese

aspartato sale al citosol. La reacción de la arginino-succinato sintetasa emplea la energía de hidrólisis de dos uniones de alta energía liberada a partir de una molécula de ATP para dar AMP y PPi. A continuación, la arginino succinato liasa cataliza la ruptura de este compuesto dando arginina y fumarato. El fumarato puede incorporarse al ciclo de Krebs del cual había salido originalmente como oxalacetato. La arginina, por su parte, es sustrato de la enzima citosólica arginasa, que la escinde dando urea y ornitina. La ornitina vuelve a entrar a la mitocondria donde se reinicia el ciclo, en tanto que la urea pasa a la sangre y es excretada a nivel renal. La membrana mitocondrial interna contiene un transportador que intercambia citrulina/ornitina (Haussinger, 1996; O' Sullivan et al., 1998).

Relación entre ciclo de la urea y ciclo de Krebs: En el ciclo de la urea, el aspartato se combina en el citoplasma con la citrulina para dar arginino-succinato. Este aspartato proviene de una reacción de transaminación mitocondrial catalizada por la AST, en la que el oxalacetato recibe el grupo amino del glutamato, formando aspartato y α -cetoglutarato. El aspartato sale al citosol, donde se incorpora al ciclo de la urea. Sin embargo, el esqueleto carbonado del aspartato se desprende del ciclo como fumarato. De esta forma, el fumarato puede retornar a la mitocondria e incorporarse al ciclo de Krebs, para volver a transformarse en oxalacetato, nuevamente generar aspartato y reiniciar el proceso (Brosnan y Young, 2003).

Destino de los esqueletos carbonatados de los aminoácidos. Luego de la pérdida del grupo amino, los esqueletos carbonados resultantes de los aminoácidos pueden ser canalizados hacia la síntesis de glucosa o hacia el ciclo de Krebs, para su degradación a través de 7 compuestos: piruvato, acetil-CoA, acetoacetato, α -cetoglutarato, succinilCoA, fumarato y oxalacetato. En muchos casos, las reacciones de transaminación de un determinado aminoácido da directamente un intermediario del ciclo de Krebs, en otros, en cambio, los procesos de degradación son mucho más complejos. Además, dado que las reacciones de degradación de los aminoácidos son reversibles,

los intermediarios del ciclo de Krebs pueden ser utilizados para la síntesis de aminoácidos no esenciales. De acuerdo al destino final del esqueleto carbonado, los aminoácidos se clasifican en cetogénicos y glucogénicos. Los cetogénicos son aquellos aminoácidos que se degradan a acetil-CoA o a acetoacetilCoA, y pueden dar origen a cuerpos cetónicos. Los aminoácidos glucogénicos son aquellos que se degradan a piruvato, α -cetoglutarato, succinilCoA, glutamato u oxalacetato, todos compuestos que pueden ser utilizados para la síntesis de glucosa (gluconeogénesis). La mayoría de los aminoácidos son glucogénicos; la leucina y la lisina son cetogénicos y la fenilalanina, tirosina, isoleucina y triptófano son cetogénicos y glucogénicos. Por lo tanto, los aminoácidos no sólo son importantes para la síntesis de compuestos nitrogenados sino también para la síntesis de compuestos de reserva energética (Rodwell, 2010). La degradación de proteínas o aminoácidos es un proceso que se puede generar de varias vías dependiendo el tejido y la utilización de los esqueletos carbonatados para utilización o reserva de energía se da cuando tenemos un exceso de proteína en la dieta o en condiciones de ayuno severo.

Disposición metabólica de los aminoácidos. El proceso de digestión y absorción de proteínas, los aminoácidos obtenidos a través de la vía entérica no son totalmente oxidados en el hígado, tal afirmación obligaría a suponer que el hígado consumiría una mayor cantidad de oxígeno de la que realmente consume, aun si no se oxida ahí ningún otro nutriente (Jungas et al., 1992). En cambio, existe una oxidación de aminoácidos a nivel gastrointestinal; los aminoácidos de cadena ramificada escapan en gran medida al metabolismo esplácnico y se metabolizan principalmente en sistema musculo-esquelético; y por último, aun cuando se encuentra en un estado prandial, el hígado debe degradar aminoácidos para la obtención de esqueletos de carbono los cuales son utilizados para la gluconeogénesis y la formación de cuerpos cetónicos que son liberados como fuentes de energía para diversos tejidos (Stoll et al., 1998). Todo esto hace posible que el hígado metabolice los aminoácidos obtenidos de la dieta dentro de los límites de su consumo de oxígeno. Si el hígado fuera

demasiado eficiente en la eliminación de los aminoácidos absorbidos, ninguno estaría disponible para los tejidos periféricos. Por el contrario, después de las comidas, el hígado debe consumir solo el exceso de aminoácidos. Sin embargo, una prioridad igual es tener suficientes aminoácidos disponibles para la síntesis de proteínas tanto en tejidos periféricos como en el hígado mismo. En el período postprandial, el hígado metabolizará los aminoácidos liberados por los tejidos periféricos, principalmente los músculos (Brosnan y Brosnan, 2008).

Utilización de aminoácidos por el tejido gastrointestinal. Los tejidos del intestino representan solo una pequeña proporción de masa de proteína corporal (0.05 en el ganado), contribuyen una cantidad desproporcionada a la síntesis de proteínas de todo el cuerpo (0.32 - 0.45, Lobley et al., 1980). Además, en comparación con los tejidos musculares, los intestinales se caracterizan por tener una alta tasa de recambio proteico y un bajo nivel de acreción de proteínas, que refleja la capacidad de adaptarse rápidamente a situaciones nutricionales cambiantes a fin de mantener un suministro de nutrientes para todo el animal. Los cambios en la función intestinal durante la transición de lactante a destetado en borregos, causa un impacto a nivel intestinal: por ejemplo, se ha demostrado que mejora las tasas de síntesis de proteínas a lo largo del tracto (Attaix et al., 1992), lo que se refleja en el aumento de la ingesta de una dieta más fibrosa y de baja digestibilidad. Este proceso adaptativo sugiere una de las razones por las cuales los rumiantes muestran una baja eficacia aparente de la utilización de aminoácidos absorbidos cuando se hace comparación con especies no rumiantes. En estudios realizados por Tagari y Bergman (1978) en donde se comparó la desaparición de aminoácidos del intestino con la absorción neta medido en la vena porta, se observó que para una cantidad de aminoácidos esenciales, menos del 50% de la pérdida medida del intestino podría tenerse en cuenta en términos de absorción neta en la vena porta. Desde ese momento, ha habido un continuo interés en la medida en que el metabolismo de aminoácidos por los tejidos del intestino impacta sobre la acreción de proteínas del cuerpo entero y

los factores que influyen en este efecto. Estudios posteriores (MacRae et al., 1997) demostraron que los aminoácidos absorbidos a nivel luminal son transportados eficientemente por la vena porta y la mayoría (80 %) de los aminoácidos secuestrados a nivel intestinal eran derivados del aporte arterial. Posteriormente, estudios de Loble et al. (1998) donde se utilizaron infusiones lumbales o intravenosas de aminoácidos, señalaron que los niveles de aminoácidos a nivel portal estaban por debajo de los niveles teóricos sugiriendo que hubo una inhibición de la absorción de aminoácidos a nivel luminal, o una mayor absorción de aminoácidos de la circulación sistémica. El secuestro de aminoácidos a nivel intestinal representa un elemento significativo en el flujo general de aminoácidos, ya sea de suministro arterial o luminal.

OBJETIVO

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de diferentes fuentes de proteína vegetal en reemplazo de la PC del heno de alfalfa, sobre la producción de leche, la composición de ésta y la utilización del nitrógeno en vacas Holstein lactando.

HIPÓTESIS

La inclusión de cuatro fuentes de PC de origen vegetal en reemplazo de la PC del heno de alfalfa en dietas para vacas Holstein en producción no afecta adversamente la producción de leche, composición de ésta y utilización del nitrógeno por las vacas lactando.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio 1

Área de estudio

La presente investigación se realizó durante de octubre a diciembre de 2015, en las instalaciones experimentales de la Unidad de Producción Lechera del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma del estado de Baja California en el noroeste de México con una latitud de 32°40', una longitud de 115°28', una altitud de 3 m sobre el nivel del mar y condiciones desérticas, en Mexicali, Baja California, México.

Unidades experimentales

Se utilizaron 12 vacas Holstein multíparas en su primer tercio de lactación con una media de 42 días en leche (DEL) y una media de producción de 33 L/d. Se alojaron en corraletas individuales con comederos individuales y bebederos automáticos compartidos para dos unidades experimentales. Durante todo el experimento las vacas contaron con acceso al agua ad libitum. Antes de iniciar y durante toda la prueba se constató que todas las vacas estuvieran completamente sanas, libres de problemas de extremidades y de mastitis, realizándose la prueba de California Mastitis Test (CMT) semanalmente.

Tratamientos

Los tres tratamientos consistieron en la inclusión de dos suplementos proteicos: pasta de soya o CM comparados con la dieta control que contenía heno de alfalfa como fuente de proteína (Cuadro 1). El porcentaje de inclusión del suplemento proteico representó el 20 % de la PC del tratamiento control en sustitución parcial de la alfalfa. Las dietas se prepararon dos veces por semana, tanto el forraje como el concentrado se prepararon de manera separada. El alimento se almacenó en cajones de madera, que se encontraban

frente de las corraletas. La dieta total por día se ofreció por partes iguales diariamente a las 0800 y 1500 h. Las vacas consumieron las dietas ad libitum, asegurándose que en el comedero quedara alrededor del 5 % del total del alimento ofrecido. El experimento tuvo una duración de 15 días de adaptación a las dietas y 42 días de registro de producción de leche y toma de muestras de ésta. El pesado y la toma de muestras de la leche se realizaron los días viernes durante las ordeñas de las 04:30 y 16:30 h.

Diseño estadístico

Se capturó una base de datos en el programa EXCEL (Microsoft) con la información generada en este estudio. Se utilizó el procedimiento MIXED de SAS (SAS Company, Cary, North Caroline, USA) para medidas repetidas con análisis de la estructura de covarianza para un diseño completamente al azar, con un nivel de significancia establecido de $P \leq 0.05$. Cuando se detectaron niveles significativos para los efectos evaluados, se realizó una comparación de medias con el método Tukey, usando la opción LSMEANS de SAS.

Toma de muestras

Una vez cada semana (6 semanas), posteriores a las dos semanas de adaptación. Se colectaron muestras de leche, sangre y además se midió la producción diaria de leche. Las muestras de leche (50 ml) se colectaron en vasos estériles. El pesaje de leche se llevó a cabo utilizando un pesador de flujo de la marca Waikato®. La toma de muestra de sangre se llevó a cabo con Vacutainer® en la vena coccígea.

Análisis de muestras

Una vez obtenidas las muestras (leche y sangre) se enviaron al laboratorio inmediatamente para determinar su contenido de proteína, grasa, lactosa, sólidos no grasos (SNG), densidad, agua (mediante un equipo Lactoscan Milk Analyzer) y N-ureico en leche; las muestras de sangre fueron analizadas para determinar en contenido de N-ureico (espectrofotometría);

mismos contenidos considerados las variables a estudiar en el presente experimento.

Cuadro 1. Composición y contenido de nutrientes de las dietas experimentales (estudio 1).

Componente:	Tratamientos		
	Control	Pasta de soya	Pasta de canola
	Base MS, %		
Heno de alfalfa	61.13	25.78	21.67
Heno de avena	-	30.08	32.51
Pasta de soya	-	6.45	-
Pasta de canola	-	-	7.59
Maíz rolado	37.30	36.53	36.88
Carbonato de Ca	-	0.64	0.87
Fosfato monosódico	0.57	0.52	0.52
	Composición, % MS		
Materia seca	89.66	89.74	89.91
ENL ¹ (Mcal/kg)	1.56	1.56	1.54
Proteína cruda	15.53	15.57	14.93
PDR ² , % PC	74.88	67.00	66.66
PNDR ³ , % PC	25.12	33.00	33.34
PDR, % MS	12.97	11.70	11.07
PNDR, % MS	4.35	5.73	5.54
Extracto etéreo	3.47	3.66	3.68
FAD ⁴	20.89	19.89	20.39
FND ⁵	29.70	31.43	33.27
Calcio	0.89	0.68	0.75
Fósforo	0.37	0.33	0.37

¹Energía neta de lactancia; ²Proteína degradable en rumen; ³Proteína no degradable en rumen; ⁴Fibra ácido detergente; ⁵Fibra neutro detergente.

Estudio 2

Área de estudio

La presente investigación se realizó de marzo a mayo de 2016, en las instalaciones experimentales de la Unidad de Producción Lechera del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma del estado de Baja California, en el noroeste de México con una latitud de 32°40', una longitud de 115°28', una altitud de 3 msnm y condiciones desérticas, en Mexicali, Baja California, México (INEGI 2017).

Unidades experimentales

Se utilizaron 12 vacas Holstein multíparas en su segundo tercio de lactación con una media de 153 ± 7 DEL y una media de producción de 20.48 ± 3.41 L/d al inicio del experimento. . Se alojaron en corraletas individuales con comederos individuales y bebederos automáticos compartidos para dos corraletas. Durante todo el experimento las vacas tuvieron acceso al agua ad libitum. Antes de iniciar y durante toda la prueba se constató que todas las unidades experimentales estuvieran completamente sanas, además de libres de problemas de extremidades y de mastitis, realizándose la prueba de California Mastitis Test (CMT) semanalmente.

Tratamientos

Los tres tratamientos consistieron en la inclusión de dos suplementos proteicos: granos secos de destilería con solubles o pasta de cacahuate comparados con heno de alfalfa (dieta control) (Cuadro 2). El porcentaje de inclusión del suplemento proteico representó el 20 % de la PC aportada por el heno de alfalfa. Las dietas se prepararon dos veces por semana, tanto el forraje como el concentrado se prepararon de manera separada. El alimento se almacenó en cajones de madera, que se encontraban frente de las corraletas. La dieta total por día se ofreció por partes iguales diariamente a 0800 y 1500 h. Los animales consumieron las dietas ad libitum, asegurándose que en el comedero quedara alrededor del 5 % del alimento total ofrecido. El experimento

tuvo una duración de 15 días de adaptación a las dietas y 56 días de pesado de leche y toma de muestras de ésta. El pesado y la toma de muestras de la leche se realizaron los días viernes durante las ordeñas de las 04:30 y 16:30 h.

Diseño estadístico

Se creó una base de datos en el programa EXCEL (Microsoft) para la captura y manejo de información generada en este estudio. Se utilizó el procedimiento MIXED de SAS (SAS Company, Cary, North Caroline, USA) para medidas repetidas utilizando un diseño completamente al azar. Cuando se detectaron diferencias significativas para los efectos evaluados, se realizó una comparación de medias con el método de Tukey (Proc LSMEANS de SAS). Los valores de P observados se consideraron estadísticamente diferentes cuando $P \leq 0.05$.

Toma de muestras

Una vez cada semana (8 semanas), posteriores a las dos semanas de adaptación de las vacas. Se tomaron muestras de leche, sangre y además se midió la producción de leche. Las muestras de leche se colectaron en vasos estériles de 50 ml. El pesaje de leche se llevó a cabo utilizando un pesador de flujo de la marca Waikato®. La toma de muestra de sangre se llevó a cabo con Vacutainer® en la vena coccígea.

Análisis de muestras

Una vez obtenidas las muestras (leche y sangre) se enviaron al laboratorio inmediatamente para determinar contenido de proteína, grasa, lactosa, sólidos no grasos (SNG), densidad, agua (mediante un equipo Lactoscan Milk Analyzer) y N-ureico en leche; las muestras de sangre fueron analizadas para determinar en contenido de N-ureico (últimos determinados mediante espectrofotometría); mismos contenidos considerados las variables a estudiar en el presente experimento.

Cuadro 2. Composición y contenido de nutrientes de las dietas experimentales (estudio 2).

Componente:	Tratamientos		
	Control	DDGS ¹	Pasta de Cacahuete
	Base MS, %		
Heno de alfalfa	63.74	25.26	25.27
Heno de avena	-	28.21	32.86
DDGS	-	9.89	-
Pasta de cacahuete	-	-	4.31
Maíz roado	35.48	35.39	35.41
Carbonato de Ca	-	0.70	0.84
Fosfato monosódico	0.77	0.55	1.32
	Composición, % MS		
Materia seca	89.69	89.93	89.89
ENL ² (Mcal/kg)	1.56	1.63	1.57
Proteína cruda	15.66	14.76	15.31
PDR ³ , % PC	75.40	66.08	69.73
PNDR ⁴ , % PC	24.60	33.92	30.27
PDR, % MS	13.16	10.85	11.88
PNDR, % MS	4.29	5.57	5.16
Extracto etéreo	3.44	4.23	3.42
FAD ⁵	21.36	21.82	22.37
FND ⁶	30.25	35.54	34.93
Calcio	0.91	0.66	0.71
Fósforo	0.42	0.35	0.48

¹Granos secos de destilería más solubles; ²Energía neta de lactancia; ³Proteína degradable en rumen; ⁴Proteína no degradable en rumen; ⁵Fibra ácido detergente;

⁶Fibra neutro detergente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio 1

Los resultados del efecto de la sustitución parcial de heno de alfalfa por pasta de soya y CM sobre la producción de leche se muestran en el cuadro 3. No se observaron diferencias significativas entre las medias de producción y leche corregida por energía (LCE) en respuesta a los tratamientos ($P > 0.05$). La concentración de grasa, proteína, lactosa y SNG no mostraron diferencia estadística, los rendimientos en kg diarios de las variables ya mencionadas no difirieron entre sí ($P > 0.05$). Las variables NUL y NUS no fueron significativamente diferente entre tratamientos, además, presentaron una estrecha correlación con un coeficiente positivo de $r = 0.69$, por lo que el valor de NUL pudiera ser una buena medida predictiva para la eficiencia de la utilización de la proteína de la dieta.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Sánchez y Claypool (1983), quienes no observaron diferencia significativa en producción de leche por día al comparar CM contra pasta de soya en dietas a base de ensilaje de maíz y heno de alfalfa. Al igual que en el meta-análisis de Martineau et al. (2013), en el que no se observó diferencia significativa en la variable LCE. Así mismo, Brito y Broderick (2007), no encontraron diferencias significativas en producción de leche en su experimento al comparar diferentes suplementos proteicos (incluida pasta de soya contra CM) en dietas a base de ensilaje de alfalfa y ensilaje de maíz.

Por su parte, Broderick et al. (2015), al reemplazar pasta de soya por CM, encontraron diferencia significativa sobre producción de leche y producción de leche corregida por energía (0.4 kg/d) en dietas con ensilaje de alfalfa y ensilaje de maíz. Así mismo en el meta-análisis realizado por Martineau et al. (2013), se reportó un incremento en la producción de leche al sustituir pasta de soya por CM (para una vaca alimentada con 17.2 % de CM en la dieta). Estos resultados concuerdan con los reportados por Laarveld y

Christensen (1976); Papas et al. (1978); Dewhurst et al. (1999) y Shingfield et al. (2003).

Cuadro 3. Efecto del reemplazo parcial de la alfalfa por pasta de soya y canola sobre la producción y composición de la leche y el nitrógeno ureico en suero sanguíneo y leche.

Variable	Control	Pasta de soya	Pasta de Canola	EEM	P > F
Prod. leche, kg	31.07	30.73	33.20	1.90	0.62
LCE ¹ , kg/d	29.39	31.13	31.95	1.89	0.63
Grasa, %	3.08	3.68	3.24	0.28	0.33
Grasa, kg/d	0.96	1.12	1.08	0.09	0.48
Proteína, %	3.16	3.16	3.14	0.01	0.39
Proteína, kg/d	0.98	0.97	1.04	0.06	0.66
Lactosa, %	4.50	4.49	4.46	0.02	0.52
Lactosa, kg/d	1.40	1.38	1.48	0.08	0.66
SNG ² , %	8.37	8.34	8.30	0.04	0.49
SNG, kg/d	2.60	2.56	2.76	0.15	0.66
NUL ³ , mg/dL	11.55	11.84	9.53	1.04	0.28
NUS ⁴ , mg/dL	24.74	25.90	24.15	1.53	0.72

(abc) Medias con diferente superíndice en la misma fila difieren ($P \leq 0.05$)

¹Leche corregida por contenido de energía

² Sólidos no grasos

³Nitrógeno ureico en leche

⁴Nitrógeno ureico en sangre.

Similar a los resultados obtenidos para el contenido de grasa, lactosa y proteína de la leche en este experimento, Martineau et al. (2013) no observaron

diferencia significativa sobre concentración de grasa ni rendimiento en su meta-análisis cuando la CM substituyó a la pasta de soya. De la misma manera, en estudios previos fueron reportados resultados similares por Sánchez y Claypool (1983) y Brito y Broderick (2007), quienes no observaron diferencia significativa en la concentración de grasa de la leche y su rendimiento al comparar pasta de soya y CM en dietas a base de ensilaje de maíz y alfalfa.

Por su parte, Broderick et al. (2015) reportaron diferencia sobre rendimiento de proteína (0.03 kg/kg) al comparar la CM con la pasta de soya en dietas a base de ensilaje de alfalfa y ensilaje de maíz. También observaron diferencia sobre el rendimiento de la proteína (45 g/vaca) cuando la CM substituyó a la pasta de soya (Martineau et al., 2013), lo cual corresponde con lo mencionado por Huhtanen et al. (1991), Emanuelson et al. (1993), Shingfield et al. (2003), Brito y Broderick (2007) y Oba et al. (2010). Soportando la hipótesis del perfil de aminoácidos esenciales (AAE), la respuesta en el porcentaje de proteína de la leche fue positivo en el meta-análisis de Martineau et al. (2013), únicamente cuando la CM substituyó a otros suplementos proteicos que no fueran pasta de soya. La proteína microbiana tiene un perfil favorable que coincide estrechamente con los requerimientos de AA para la síntesis de leche y proteína de la leche (NRC, 2001). La CM puede estimular la síntesis microbiana ruminal porque provee una adecuada proporción de PDR, la cual es importante porque otras formas de N diferentes al amoníaco son necesarias para maximizar el crecimiento microbiano (Griswold et al., 1996), facilitando que tanto los AA como péptidos preformados puedan rápidamente ser incorporados a la masa microbiana (Bach et al., 2004). El perfil de AAE en la fracción digestible de la proteína no degradable en el rumen (PNDR) es también importante como suplemento complementario de la proteína microbiana (NRC, 2001). Aunque la CM suple menos PNDR en duodeno comparado con la mayoría de las fuentes de proteína, esta contiene relativamente mayor concentración de metionina, lisina e histidina (a menudo citados como AAE limitantes en dietas de vacas lecheras) (NRC, 2001). Las respuestas positivas en producción de leche y porcentaje y rendimiento de

proteína en leche sugieren una mayor eficiencia del metabolismo del N, el cuál puede estar relacionado a una mejora en el perfil duodenal de AAE suplementados (Martineau et al., 2013). Clark (1975) y Choung y Chamberlain (1993) demostraron que el perfil duodenal de AAE debe de ser similar al de la proteína de la leche para incrementar el porcentaje de proteína de la leche.

El nitrógeno ureico en sangre no presentó diferencias significativas entre tratamientos, lo cual coincide con los resultados encontrados por Brito y Broderick (2007) y Sanchez y Claypool (1983). Inversamente a lo reportado en los resultados de Mustafa et al. (1997) quienes reportaron un incremento significativo en NUS cuando la pasta de soya extraída con solventes reemplazó tanto a la CM alta en fibra como la normal en la dieta; sin embargo hay que considerar que el nivel de PC de la dieta de pasta de soya extraída con solventes estuvo 1.6 unidades porcentuales por encima que el promedio de PC de ambas dietas de CM.

Por su parte Broderick et al. (2015) observaron una disminución del NUL en respuesta al suplemento de CM en dietas a base de ensilaje de alfalfa y ensilaje de maíz. Lo anterior coincide con los experimentos en los cuales los tratamientos con CM produjeron un aumento en la producción de leche al compararlos con dietas con pasta de soya. Cabe mencionar que durante todo el estudio todos los niveles se mantuvieron dentro de los rangos normales, por lo cual no se considera que haya habido una diferencia en la eficiencia en la utilización de nitrógeno en la dieta o el cambio de suplemento proteico no fue suficiente para variar estas concentraciones. De igual manera, el contenido de nitrógeno en leche como porcentaje del nitrógeno alimenticio (cuadro 4) guarda relación acorde a lo que mencionan Chase et al. (2009) que la conversión de nitrógeno alimenticio en leche oscila alrededor del 20 al 35 %.

Cuadro 4. Efecto del reemplazo parcial de la pasta de canola y soya por heno de alfalfa sobre eficiencia de producción y eficiencia de utilización de N de vacas Holstein lactando.

Variable	Control	Pasta de Soya	Pasta de Canola	EEM	P > F
CMS (kg d ⁻¹)	22.34	23.11	22.45	0.40	0.37
Eficiencia producción	1.39	1.33	1.48	0.08	0.47
Eficiencia LCE ¹	1.32	1.35	1.42	0.08	0.66
N ² en la dieta (%)	2.42	2.49	2.39	-	-
N ingerido (g d ⁻¹)	540.61 ^b	575.66 ^a	536.74 ^b	9.77	0.04
N en leche (g d ⁻¹)	157.26	155.33	166.74	3.91	0.09
Eficiencia N	29.08	26.98	31.05	0.02	0.25
Cambio CC ³	- 0.92	- 1.00	-1.33	0.23	0.45

(abc) Medias con diferente superíndice en la misma fila difieren (P ≤ 0.05).

¹Leche corregida por contenido de energía; ²Contenido de nitrógeno; ³Condición corporal.

El CMS mostró un incremento de 10 % a lo sugerido por programas de formulación. Huhtanen et al. (2011) atribuyeron el incremento del CMS en la pasta de canola a un “efecto pull”, por lo cual un mejor patrón de aminoácidos (AA) en la proteína metabolizable puede mejorar la producción de leche y el rendimiento de sus componentes, lo cual a su vez estimula un mayor CMS requerido para soportar la elevada producción de leche. A pesar de que hubo diferencia significativa en la cantidad de N ingerido, debido posiblemente a las variaciones que existieron de PC en la dieta (15.53, 15.67 y 14.93 respectivamente) al momento de formular, esto no afectó la eficiencia de N, ya que esta variación en el consumo de N no fue compensada con un cambio en la producción de leche o en la concentración y rendimiento de la proteína de la

Cuadro 5. Evaluación económica de las dietas. ¹

	Control	Pasta de soya	Pasta de Canola
Costo de la dieta (\$) ²	104.97	109.80	94.84
Ofrecido (kg/d)	22.62	23.27	23.27
Costo/kg dieta	4.64	4.72	4.08
Producción de leche (kg/d)	31.07	30.73	33.20
Precio de leche (\$/L)	6.00	6.00	6.00
Ingresos producción de leche (\$)	186.42	184.38	199.20
Utilidad sin costos fijos (\$)	81.45	74.59	104.36
Utilidad (\$/L)	2.62	2.43	3.14
Índice de rentabilidad	1.78	1.68	2.10

¹ Sin considerar costos fijos.

² Precios y costos en pesos mexicanos.

leche. En dietas a base de CM, la mejora en el rendimiento de proteína en leche es asociada principalmente al incremento de la concentración de histidina, metionina aminoácidos esenciales y aminoácidos de cadena ramificada (Huhtanen et al., 2011). Paula et al. (2017) observaron que dietas con CM mejoraron la eficiencia de utilización de N, explicado en parte por el decremento en 8 % de NUL. Esta reducción puede estar relacionada a un incremento en la concentración plasmática de aminoácidos de cadena ramificada, lo cual no siempre se ve reflejado en una mejora en la cantidad de proteína en leche pero si en NUL (Appuhamy et al., 2011). Estos autores especulan que la infusión de aminoácidos de cadena ramificada puede promover la síntesis de proteínas en otros tejidos corporales en vez de incrementar el catabolismo de aminoácidos.

A pesar de no encontrar diferencias estadísticas entre los tratamientos, la dieta que contenía CM fue 9.6 % más económica que la dieta control; mientras que la última lo fue 4.6 % en comparación a la dieta con pasta de

soya. La dieta con CM ofreció 19.8 % más utilidad por litro; cabe señalar que esto sin considerar otros costos variables de producción y costos fijos (cuadro 5).

Estudio 2

Los resultados del efecto de la sustitución parcial de la PC del heno de alfalfa por DDGS y pasta de cacahuete sobre producción de leche se muestran en el cuadro 4. No se observaron diferencias significativas entre las medias de producción de leche y leche corregida por energía (LCE) en respuesta a los tratamientos ($P > 0.05$). La concentración de grasa, proteína, lactosa y SNG no mostraron diferencia significativa, los rendimientos en kg diarios de las variables ya mencionadas no difirieron entre sí ($P > 0.05$). NUL presentó diferencias significativas entre tratamientos, el tratamiento control mostró la media más elevada, los tratamientos DDGS y pasta de cacahuete no mostraron diferencia estadística entre sí. NUS no fue significativamente diferente entre los tratamientos, además, ambas variables presentaron una correlación moderada ($r = 0.59$).

La inclusión de granos de destilería (GD) en las dietas para vacas lecheras han oscilado entre 4.2 (Broderick et al., 1990) y 41.6 % de MS (Van Horn et al., 1985). Las repuestas a diferentes cantidades han sido variables, en algunos casos, la producción de leche ha sido la misma o superior cuando los GD son comparados con las dietas control, principalmente cuando los niveles superan alrededor del 30 % de inclusión (Kalscheur, 2005) y en algunos casos la diferencia es atribuida principalmente al contenido de energía contenida en los GD, porque el contenido de grasa no fue balanceado en las dietas. En un experimento donde se incluía GD provenientes de la industria del etanol o de la industria de whiskey contra harina de soya, todos balanceados en igual PNDR y grasa, se encontró que en ambos casos la respuesta era mayor en los GD y en los casos en que no lo fue, la diferencia fue atribuida al color oscuro y con posible daño térmico del subproducto (Powers et al., 1995; Kleinschmit et al., 2007).

Estudios enfocados en evaluar el uso de los DDGS en reemplazo de CM o pasta de soya demostraron que estas tres fuentes de proteína pueden ser utilizadas ya que la producción de leche fue similar o inclusive mayor cuando DDGS reemplazó a la pasta de soya (Nichols et al., 1998; Anderson et al., 2006; Schingoethe, 2008). De igual manera, Mulrooney et al. (2009) en un estudio para determinar la respuesta de dietas en base de CM en reemplazo total o parcial de DDGS reportaron que la producción de leche fue similar entre las dietas y de igual manera LCE, pese a no encontrar diferencias estadísticas en esta variable, la mejores respuesta tendieron a ser en las dietas que contenían CM, especialmente cuando solo se reemplazó un tercio de ella por DDGS.

Contrario a lo mencionado por algunos autores (Faldet y Satter 1991; Broderick et al., 2002; Flis y Wattiaux, 2005), en el presente estudio no se encontró diferencia estadística sobre la producción de leche, LCE, concentración de grasa, proteína, lactosa y SNG. Sin embargo, hay concordancias en que al variar las concentraciones de PNDR de 7.1 a 4.7 % de la MS, la producción y composición de la leche no es afectada, principalmente porque si disminuir las concentraciones de PNDR y de igual manera las de PC pero manteniendo un adecuado aporte de aminoácidos esenciales podríamos obtener similares respuestas entre tratamientos (Bahrami-Yekdangi et al., 2014). Algunos estudios reportan que bajas concentraciones de PDR en la dieta (alrededor de 7.4 % MS) conllevan una reducida cantidad de nitrógeno amoniacal en el rumen (Gressley y Armentano, 2007), e inclusive tener efecto sobre el CMS debido a la insuficiente cantidad de N amoniacal disponible para la fermentación microbiana (Faverdin, 1999); por lo que al no encontrar diferencias en las variables mencionadas, se podría asumir en la cantidad de PDR en el tratamiento con la menor concentración (10.85 % MS) de PDR fue aun suficiente para mantener una adecuada concentración de N amoniacal en el rumen.

Cuadro 6. Efecto del reemplazo parcial del heno de alfalfa por pasta de cacahuate o granos secos de destilería sobre producción de leche, la composición de ésta y el nitrógeno ureico en sangre y leche.

Variable	Control	DDGS	Pasta de cacahuate	EEM	P > F
Producción, kg	29.06	28.43	26.34	2.35	0.70
LCE ¹ , kg/d	26.28	25.80	24.35	1.62	0.69
Grasa, %	2.96	3.01	3.08	0.22	0.93
Grasa , kg/d	0.85	0.85	0.81	0.06	0.89
Proteína,%	3.16	3.16	3.16	0.009	0.99
Proteína, kg/d	0.92	0.89	0.83	0.06	0.57
Lactosa, %	4.50	4.49	4.49	0.02	0.92
Lactosa, kg/d	1.31	1.28	1.18	0.08	0.56
SNG ² , %	8.37	8.35	8.35	0.03	0.90
SNG, kg/d	2.43	2.37	2.20	0.20	0.70
NUL ³ , mg/dL	8.24 ^a	6.98 ^b	6.39 ^b	1.04	0.01
NUS ⁴ , mg/dL	12.39	11.98	11.66	0.72	0.78

(abc) Medias con diferente superíndice en la misma fila, difieren estadísticamente $P \leq 0.05$.

¹Leche corregida por energía; ²Sólidos no grasos; ³Nitrógeno ureico en leche;

⁴Nitrógeno ureico en sangre.

El nitrógeno ureico en leche es un predictor de NUS, el cual es formado del amoniaco absorbido en el rumen o del catabolismo de AA a nivel tisular (Benchaa et al., 2013). NUL mostró diferencia significativa entre los tratamientos, en los mismos en donde se redujo la cantidad de PNDR fueron

significativamente menores las medias que el tratamiento control. Por el contrario, NUS no mostró diferencias significativas entre dietas, posiblemente debido a que en esta fase de la lactancia los animales experimentaron un aumento de condición corporal (cuadro 7) y por ende, hubo menos utilización de reservas corporales para la obtención de energía lo que conlleva a una menor desaminación de AA a nivel tisular.

Cuadro 7. Efecto del reemplazo parcial del heno de alfalfa por pasta de cacahuate o granos secos de destilería sobre sobre eficiencia de producción de leche y eficiencia de utilización de N.

Variable	Control	DDGS	Pasta de cacahuate	EEM	P > F
CMS (kg d ⁻¹)	21.29	21.65	20.30	0.44	0.13
Eficiencia producción	1.33	1.27	1.27	0.08	0.81
Eficiencia LCE ¹	1.23	1.19	1.20	0.07	0.91
N ² en la dieta (%)	2.50	2.36	2.45	-	-
N ingerido (g d ⁻¹)	532.26	510.93	547.35	10.92	0.13
N en leche (g d ⁻¹)	146.87	143.63	133.13	11.83	0.70
Eficiencia N	27.60	28.14	26.75	0.02	0.85
Cambio CC ³	0.88	1.00	1.00	0.21	0.89

^(abc) Medias con diferente superíndice en la misma fila difieren ($P \leq 0.05$).

¹Leche corregida por contenido de energía; ²Contenido de nitrógeno; ³Condición corporal

Algunos estudios se cuestionan sobre la repuesta en cuanto al uso de granos de destilería (GD), ya que en algunos experimentos solo se evalúan variables durante cuatro o cinco semanas en vacas lecheras, lo cual crea la duda sobre la respuesta a largo plazo. A raíz de esto, un experimento fue conducido en donde las vacas fueron suplementadas con GD en húmedo al 15

% de MS durante toda la lactancia, periodo seco y segunda lactancia. Después del primer año no hubo diferencias en producción (31.7 vs 33.6 kg/d para control y GD, respectivamente). La concentración de grasa (3.75 vs 4.07 %), concentración de proteína (2.9 vs 3.41 %) y eficiencia alimenticia (1.30 vs 1.57 FCM/CMS) fueron mayores en las vacas que fueron alimentadas con GD (Mpapho et al., 2006). Gehman y Kononoff (2010) observaron un aumento en la síntesis de proteína microbiana al suplementar con 25 % de GD húmedos, en reemplazo de ensilaje de maíz o alfalfa, harina de soya y harina de soya tratada con calor. En ese estudio se aducía que GD era causante de un incremento en la concentración de proteína en leche. Mayor concentración de AA esenciales y no esenciales fue reportado en dietas a base de GD en comparación con dietas con harina de soya, la eficiencia alimenticia promedió 1.51 (LCE/CMS) y no fue afectada a medida que se incrementaba la cantidad de GD en la dieta (Nichols et al., 1998; Mjoun et al., 2010). Anderson et al. (2006) y Kleinschmith et al. (2006) reportaron mejores eficiencias (rango de 1.63 a 1.86) cuando las dietas contenían 20 % de DDGS secos o húmedos. A su vez, estos autores reportaron que la eficiencia en la utilización de nitrógeno no fue afectada por la inclusión de DDGS a la dietas y sumado a las baja concentración de NUL en los tratamientos con DDGS, estos autores sostienen que probablemente la pérdida de nitrógeno fue a través de las heces principalmente. Cabe señalar que los niveles de eficiencia de N están dentro de los rangos señalados por Chase et al. (2009) que la conversión de nitrógeno alimenticio en leche oscila alrededor del 20 al 35 %.

La evaluación económica de los tratamientos se muestra en el cuadro 8. La dieta que contenía DDGS fue 4 % más económica que la dieta control. La dieta con pasta de cacahuete, de la misma manera, fue 12 % más económica. En promedio, la inclusión de estas fuentes de proteínas en reemplazo de 20 % de la PC del heno de alfalfa redujo en 8 % los costos variables de la alimentación. La inclusión de DDGS y pasta de fueron 3.2 y 5 % más redituables, respectivamente por litro de leche producido, haciendo salvedad que solo fueron considerados costos variables de alimentación.

Cuadro 8. Evaluación económica de las dietas. ¹

Componente	Control	DDGS	Pasta de cacahuete
Costo de la dieta (\$) ²	110.06	105.66	96.80
Ofrecido (kg/d)	23.77	23.77	23.77
Costo/kg dieta (\$)	4.63	4.44	4.07
Producción de leche (kg/d)	29.06	28.43	26.34
Precio de leche (\$/L)	6.00	6.00	6.00
Ingresos por producción de leche (\$)	174.36	170.58	158.04
Utilidad sin costos fijos (\$)	64.30	64.93	61.24
Utilidad (\$/L)	2.21	2.28	2.32
Índice de rentabilidad	1.58	1.61	1.63

¹ Sin considerar costos fijos.

² Precios y costos en pesos mexicanos.

CONCLUSIÓN

La sustitución de heno de alfalfa por 20 % de cualquiera de los suplementos proteicos de origen vegetal utilizados en el presente estudio no afectó adversamente la producción y composición de la leche, ni alteró la utilización aparente del nitrógeno por las vacas en lactación.

LITERATURA CITADA

- Anderson, J. L., D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur and A. R. Hippen. 2006. Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:3133–3142.
- Appuhamy, J. A., J. R. Knapp, O. Becvar, J. Escobar, and M. D. Hanigan. 2011. Effects of jugular-infused lysine, methionine, and branched-chain amino acids on milk protein synthesis in high- producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94:1952–1960.
- Assoumani, M. B., F. Vedeau, L. Jacquot, and C. J. Sniffen. 1992. Refinement of an enzymatic method for estimating the theoretical degradability of proteins in feedstuffs for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 39:357–368.
- Atasoglu, C., A. Y. Guliye, and R. J. Wallace. 2004. Use of stable isotopes to measure de novo synthesis and turnover of amino acid-C and -N in mixed micro-organisms from the sheep rumen in vitro. *Br. J. Nutr.* 91:235–261.
- Attaix, D., E. Aurousseau, D. Rosolowska-Huszcz, G. Bayle, and M. Arnal, (1992) In vivo longitudinal variations in protein synthesis in developing ovine intestines. *Am. J. Physiol.* 263: 1318–1323.
- Bach, A., S. Calsamiglia, and M. D. Stern. 2004. Nitrogen metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 88(E Suppl.):E9 - E21.
- Bahrami-Yekdangi, H., M. Khorvash, G. Ghorbani, M. Alikhani, R. Jahanian, and E. Kamalian. 2014. Effects of decreasing metabolizable protein and rumen-undegradable protein on milk production and composition and blood metabolites of Holstein dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 97: 3707-3714.
- Baker, L. D., J. D. Ferguson and W. Chalupa. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78: 2424-2434.
- Bath, D., J. Dunbar, J. King, S. C. Berry and S. Olbrich. 1993. By-products and unusual feedstuffs. (Ref. Issue) *Feedstuff* 65: 32.
- Batal, A., N. Dale and M. Café. 2005. Nutrient composition of peanut meal. *J. Appl. Poult. Res.* 14:254–257.

- Baynes J.W and M.H. Dominiczak (2006). *Bioquímica Médica*. 2da ed. Madrid, Elsevier.
- Benchaar, C., F. Hassanat, R. Gervais, P. Y. Chouinard, C. Julien, H. V. Petit, D.I Massé. 2013. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96:2413-2427.
- Bendall, J. R. 1964. Meat proteins. Page 255 in *Symposium on foods: proteins and their reactions*. H. W. Schultz, ed. AVI Publ. Co., Inc., Westport, CT.
- Brito, A. F. and G. A. Broderick. 2007. Effects of different protein supplements on milk production and nutrient utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90: 1816–1827.
- Broderick, G. A., A. Faciola, and L. E. Armentano. 2015. Replacing dietary soybean meal with canola meal improves production and efficiency of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:5672-5687.
- Broderick, G. A., D. B. Ricker y L. S. Driver. 1990. Expeller soybean meal and corn byproducts versus solvent soybean meal for lactating dairy cows fed alfalfa silage as the sole silage. *J. Dairy Sci.* 73:453–462.
- Broderick, G. A., and M. K. Clayton. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 80:2964–2971.
- Broderick G.A., D. Mertens, and R. Simons. 2002. Efficacy of carbohydrate sources for milk production by cows fed diets based on alfalfa silage. *Journal of Dairy Science* 85:1767-1776.
- Brosnan J.T., and V.R. Young. 2003. Integration of metabolism 2: protein and amino acids. In: Gibney MJ, Macdonald IA, Roche HM (eds) *Nutrition and Metabolism*. Oxford: Blackwell Science, pp. 43–73.
- Brosnan M.E, and J.T. Brosnan. 2008. Protein and aminoacid metabolism. In: *Textbook of Hepatology: Basic Science to Clinical Practice*, Third Edition, pp.142–149.
- Butler, W. R. 1998. Review: Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:2533-2539.
- Byers, F. M. and A. L. Moxon. 1980. Protein and selenium levels for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 50:1136-1144.

- Cardozo, P., S. Calsamiglia, and A. Ferret. 2002. Effects of pH on nutrient digestion and microbial fermentation in a dual flow continuous culture system fed a high concentrate diet. *J. Dairy Sci.* 85 (Suppl. 1):182.
- Chalupa, W. 1982. Protein nutrition of dairy cattle. In: *Proc. Dist. Feed Conf.* Cincinnati, OH. P. 101.
- Chase, L. E., R. J. Higgs, and M. E. Van Amburgh. 2009. Feeding low crude protein rations to dairy cows. Opportunities and challenges. *Proc. Cornell Nutrition Conference of Feed Manufacturers.* Cornell University Press, Ithaca, New York. Disponible en: <http://dairy.ifas.ufl.edu/rns/2012/3ChaseRNS2012.pdf> Fecha de consulta 16 de marzo de 2017.
- Choung, J. and D. G. Chamberlain. 1993. The effects of abomasal infusions of casein or soya-bean-protein isolate on the milk production of dairy cows in mid-lactation. *Br. J. Nutr.* 69:103 - 115.
- Christensen, D. A. y P. J. McKinnon. 1989. Canola meal for beef and dairy cattle. *Canola Meal for Livestock and Poultry.* D. Canola Council of Canada, Winnipeg, MB, Canada. pp. 19-22.
- Clark, J. H., T. H. Klusmeyer and M. R. Cameron. 1992. Symposium: Nitrogen metabolism and amino acid nutrition in dairy cattle: Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:2304-2323.
- Clark, J. H. 1975. Lactational responses to postruminal administration of proteins and amino acids. *J. Dairy Sci.* 58:1178 - 1197.
- Craig, W. M., and G. A. Broderick. 1984. Amino acids released during protein degradation by rumen microbes. *J. Anim. Sci.* 58:436.
- Crooker, B. A., J. H. Clark, R. D. Shanks and E. E. Hatfield. 1986. Effects of ruminal exposure on the amino acid profile of heated and formaldehyde-treated soybean meal. *J. Dairy Sci.* 69:2648.
- Cuca, M. 1978. Fuentes de energía y proteínas para la alimentación de las aves. *Cienc. Vet.* 2:325-358.
- Dawuda, P. M., R. J. Scaramuzzi, H. J. Leese, C. J. Hall, A. R. Peters, S. B. Drew, and D. C. Wathes. 2002. Effect of timing of urea feeding on the yield and quality of embryos in lactating dairy cows. *Theriogenology* 58:1443-1455.

- Dewhurst, R. J., K. Aston, W. J. Fisher, R. T. Evans, M. S. Dhanoa, and A. B. McAllan. 1999. Comparison of energy and protein sources offered at low levels in grass silage-based diets for dairy cows. *Anim. Sci.* 68:789-799.
- Elrod, C.C., and W.R. Butler. 1993. Reduction of fertility and alteration of uterine pH in heifers fed excess ruminally degradable protein. *J. Anim. Sci.* 71:694 -701.
- Emanuelson, M. 1989. Rapeseed Products of Double Low Cultivars to Dairy Cows: Effects of Long-Term Feeding and Studies on Rumen Metabolism. Volume 189 of Rapport. Swedish University of Agricultural Sciences, Department Animal Nutrition Management, Uppsala, Sweden.
- Emanuelson, M., K.A. Ahlin and H. Wiktorsson. 1993. Long-term feeding of rapeseed meal and full-fat rapeseed of double low cultivars to dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 33:199-214.
- Faldet, M. A. and L. D. Satter. 1991. Feeding heat-treated full fat soybeans to cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 74:3047 - 3054.
- Faverdin P. 1999. The effect of nutrients on feed intake in ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society* 58: 523 - 531.
- Feduchi E., Blasco I., Romero C.S., Yáñez E. (2015) *Bioquímica Conceptos Generales*. 2da ed. Médica Panamericana. pp. 280 - 285.
- Ferguson, J. D. 1991. Nutrition and reproduction in dairy cow. *Vet. Clin. North Am.: Food Anim. Pract.* 7:483-507.
- Firkins, J. L., L. L. Berger, N. R. Merchen, G. C. Fahey, and R.L. Mulvaney. 1987. Ruminal nitrogen metabolism in steers as affected by intake and dietary urea concentration. *J. Dairy Sci.* 70:2302–2311.
- Firkins, J. L., Z. Yu, and M. Morrison. 2007. Ruminal nitrogen metabolism: Perspectives for integration of microbiology and nutrition for dairy. *J. Dairy Sci.* 90(Suppl. E):E1–E16.
- Flis S.A., and M. Wattiaux. 2005. Effects of parity and supply of rumen-degraded and undegraded protein on production and nitrogen balance in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 88:2096 - 2106.
- Gaillard, C. M. T. Sørensen, M. Vestergaard, M. R. Weisbjerg, A. Basar, M. K. Larsen, H. Martinussen, U. Kidmose, and J. Sehested. 2017a. Effect of substituting soybean meal and canola cake with dried distillers grains with solubles at 2 dietary crude protein levels on feed intake, milk production, and milk quality in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100:8928–8938.

- Gaillard, C. M. T. Sørensen, M. Vestergaard, M. R. Weisbjerg, A. Basar, M. K. Larsen, H. Martinussen, U. Kidmose, and J. Sehested. 2017b. Effect of substituting soybean meal and canola cake with grain-based dried distillers grains with solubles as a protein source on feed intake, milk production, and milk quality in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100:7980–7989.
- Gallup W. D., Briggs H. M. y A. E. Darlow. 1946. The nutritive value of cottonseed meal, soybean meal, and peanut meal when used separately and together to supplement the protein of prairie hay in experiments with steers. *J. Agric. Res.* 73:167-176.
- Gehman, A. M., and P. J. Kononoff. 2010. Utilization of nitrogen in cows consuming wet distillers grains with solubles in alfalfa and corn silage-based dairy rations. *J. Dairy Sci.* 93:3166-3175.
- Gidlund, H., M. Hetta, S. Krizsan, S. Lemosquet and P. Huhtanen. 2015. Effects of soybean meal or canola meal on milk production and methane emissions in lactating dairy cows fed grass silage- based diets. *J. Dairy Sci.* 98:8093-8106.
- Gressley, T.F., and L.E. Armentano. 2007. Effects of low rumen degradable protein or abomasal fructan infusion on diet digestibility and urinary nitrogen excretion in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:1340-1353.
- Griswold, K. E., W. H. Hoover, T. K. Miller, and W. V. Thayne. 1996. Effect of form of nitrogen on growth of ruminal microbes in continuous culture. *J. Anim. Sci.* 74:483-491.
- Hammond, A. C. 1983. The use of blood urea nitrogen concentration as an indicator of protein status in cattle. *Bovine Practitioner* 18:114-118.
- Haussinger D. (1996) Hepatic glutamine transport and metabolism. *Adv. Enzymol. Relat. Areas Mol. Biol.* 72:43 - 86.
- Harker, K. N., J. T. O'Donovan, T. K. Turkington, R. E. Blackshaw, N. Z. Lupwayi, E. G. Smith, H. Klein-Gebbinck, L. M. Dosdall, L. M. Hall, C. J. Willenborg, H. R. Kutcher, S. S. Malhi, C. L. Vera, Y. Gan, G. P. Lafond, W. E. May, C. A. Grant and D. L. McLaren. 2012. High-yield no-till canola production on the Canadian prairies. *Can. J. Plant Sci.* 92:221- 233.
- Hickling, D. 2008. Maximized utilization of canola co-products in livestock industry. Pages 3–14 in *Proc. 29th Western Nutrition Conference*, Edmonton, AB, Canada. University of Alberta, Edmonton, AB, Canada.
- Hill, G. M. 2002. Peanut by-products fed to cattle. *Vet. Clin. Food Anim.* 18: 295 -315.

- Hill, R. 1991. Rapeseed meal in the diets of ruminants. *Nutr. Abstr. Rev.* 61: 139 - 155. (Series B).
- Hollmann, M., D. K. Beede, and M. S. Allen. 2007. Increased diet fermentability reduces production response to corn distiller's grains in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 90(Suppl. 1):452. (Abstr.)
- Hollmann, M., D. K. Beede and M. S. Allen. 2011. Diet fermentability influences lactational performance responses to corn distillers grains: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 94:2007-2021.
- Hoover, W. H. and S. R. Stokes. 1991. Balancing carbohydrates and protein for optimum rumen microbial yield. *J. Dairy Sci.* 74: 3630 - 3644.
- Huhtanen, P., H. Khalili y M. Nasi. 1991. A comparison of untreated and formaldehyde-treated barley distiller's solubles and rapeseed meal as protein supplements in dairy cows given grass silage ad libitum. *J. Agric. Sci. Finland* 63:455 - 463.
- Huhtanen, P. 1998. Supply of nutrients and productive responses in dairy cows given diets based on restrictively fermented silage. *Agric. Food Sci.* 7:219-250.
- Huhtanen, P., J. I. Nousiainen, M. Rinne, K. Kytölä, and H. Khalili. 2008. Utilization and partitioning of dietary nitrogen in dairy cows fed grass silage based diets. *J. Dairy Sci.* 91:3589-3599.
- Huhtanen, P. and Hristov, A. N. 2009. A meta-analysis of the effects of protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:3222 - 3232.
- Huhtanen, P., M. Hetta, and C. Swensson. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta- analysis. *Can. J. Anim. Sci.* 91:529–543.
- Hynes, D. N., S. Stergiadis, A. Gordon, and T. Yan. 2016. Effects of crude protein level in concentrate supplements on animal performance and nitrogen utilization of lactating dairy cows fed fresh-cut perennial grass. *J. Dairy Sci.* 99:8111–8120.
- Imaizumi, H., J. de Souza, F. de Batistel, and F. Portela. 2016. Replacing soybean meal for cottonseed meal on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 48:139-144.

- Ipharraguerre, I. R. and J. H. Clark. 2005. Varying protein and starch in the diet of dairy cows. II. Effects on performance and nitrogen utilization for milk production. *J. Dairy. Sci.* 88:2556-2570.
- Jenkins, T. C., y M. A. McGuire. 2006. Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *J. Dairy Sci.* 89:1302–1310.
- Jungas R.L., M.L. Halperin, and J.T. Brosnan. (1992) Quantitative analysis of amino acid oxidation and related gluconeogenesis in humans. *Physiol Rev* 72:419–448.
- Kalscheur, K. F. 2005. Impact of feeding distillers grains on milk fat, protein, and yield. *Proc. Distillers Grains Technology Council, 9th Annual Symposium, Louisville, KY. Distillers Grains Technical Council, Louisville, KY.*
- Kleinschmit, D. H., D. J. Schingoethe, A. R. Hippen, and K. F. Kalscheur. 2007. Dried distillers grains plus solubles with corn silage or alfalfa hay as the primary forage source in dairy cow diets. *J. Dairy Sci.* 90:5587–5599.
- Kleinschmit, D. H., D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur and A. R. Hippen. 2006. Evaluation of various sources of corn distillers dried grains plus solubles for lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 4784–4794.
- Kohn, R. A., K. F. Kalscheur, and E. Russek-Cohen. 2002. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 85:227-233.
- Kopecny, J., and R. J. Wallace. 1982. Cellular location and some properties of proteolytic enzymes of rumen bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 43:1026-1033.
- Laarveld, B., and D. A. Christensen. 1976. Rapeseed meal in complete feeds for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 59:1929-1935.
- Leng, R. A., and J. V. Nolan. 1984. Nitrogen metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 67:1072.
- Lobley, G.E., Bremner, D.M., Nieto, R., Obitsu, T., Hotson Moore, A. and Brown, D.S. 1998. Transfers of N metabolites across the ovine liver in response to short-term infusions of an amino acid mixture into the mesenteric vein. *British Journal of Nutrition* 80: 371 – 379.
- Lobley, G. E., V. Milne, J.M. Lovie, P.J. Reeds, and K.Pennie 1980. Whole body and tissue protein synthesis in cattle. *British Journal of Nutrition* 43: 491–502.

- MacRae, J.C., Bruce, L.A., Brown, B.S. and Calder, G. (1997). Amino acid use by the gastrointestinal tract of sheep given lucerne forage. *Am. J. Physiol.* 273:1200 – 1207.
- Martineau, R., D. R. Ouellet, and H. Lapierre. 2013. Feeding canola meal to dairy cows: A meta-analysis of lactational responses. *J. Dairy Sci.* 96:1701–1714.
- Martinov, M. V., V. M. Vitvitsky, E. V. Moshasov, R. Banerjee, and F. I. Ataullakhanov. 2000. A substrate switch: a new mode of regulation in the methionine metabolic pathway. *J. Theor. Biol.* 204:521 - 532.
- Mjoun, K., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen and D. J. Schingoethe. 2010. Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products. *J. Dairy Sci.* 93:4144 - 4154.
- Moss, A. 2002. The effects of long-term feeding of extracted rapeseed meal and whole rapeseed on the physical and financial performance, health and welfare of high yielding dairy cows. HGCA Project Report OS59. Home Grown Cereals Authority, London, UK.
- Mpapho, G. S., A. R. Hippen, K. F. Kalscheur and D. J. Schingoethe. 2007. Production responses of dairy cows fed wet distillers grains during the transition period and early lactation. *J. Dairy Sci.* 90:100. (Abstract).
- Mpapho, G. S., A. R. Hippen, K. F. Kalscheur and D. J. Schingoethe. 2006. Lactational performance of dairy cows fed wet corn distillers grains for the entire lactation. *J. Dairy Sci.* 89:1811. (Abstract).
- Mulrooney C. N., D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur, and A. R. Hippen. 2009. Canola meal replacing distillers grains with solubles for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92: 5669–5676.
- Murray R. K., D. A. Bender, K. M. Botham, P. J. Kennelly, V. W. Rodwell., and P. A. Weil. 2010. *Harper Bioquimica Ilustrada*. 28va ed. Mc Graw Hill. pp. 248 -260.
- Mustafa, A. F., D. A. Christensen and J. J. McKinnon. 1997. The effects of feeding high fiber canola meal on total tract digestibility and milk production. *Can. J. Anim. Sci.* 77:133–140.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cows*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Nichols, J. R., D. J. Schingoethe, H. A. Maiga, M. J. Brouk and M. S. Piepenbrink. 1998. Evaluation of corn distillers grains and ruminally

- protected lysine and methionine for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:482–491.
- Nolan, J. V., and R. C. Dobos. 2005. Nitrogen transactions in ruminants. In: *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. 2nd. ed. J. Dijkstra, J. M. Forbes, and J. France, ed. CABI Publ., Wallingford, UK. pp 177–206.
- Nousiainen, J., K. J. Shingfield, y P. Huhtanen. 2004. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *J. Dairy Sci.* 87: 386–398.
- Nugent, J.H.A., and J. L. Mangan. 1978. Rumen proteolysis of fraction I leaf protein, casein, and bovine serum albumin. *Proc. Nutr. Soc.* 37:48.
- Oba, M., G. B. Penner, T. D. Whyte and K. Wierenga. 2010. Effects of feeding triticale dried distillers grains plus solubles as a nitrogen source on productivity of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:2044–2052.
- O’Sullivan D, Brosnan JT, Brosnan ME (1998) Hepatic zonation of the catabolism of arginine and ornithine in the perfused rat liver. *Biochem J.* 330: 627 - 632.
- Oliveira de, P. A., R. L. Oliveira, S. M. Jaeger, M. C. Paula de, A. R. Bagaldo, L. R. Bezerra, B. R. Correia, and N. V. Santana de. 2016. Intake and digestibility, rumen fermentation, and concentrations of metabolites in steers fed with peanut cake. *Trop. Anim. Health Prod.* 48:403-409.
- Pamp, B. W., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and D. J. Schingoethe. 2006. Evaluation of dried distillers grains versus soybean protein as a source of rumen-undegraded protein for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:403. (Abstract).
- Paula E.M., G. A. Broderick, M. A. C. Danes, N. E. Lobos, G. I. Zanton, and A. P. Faciolall. 2017. Effects of replacing soybean meal with canola meal or treated canola meal on ruminal digestion, omasal nutrient flow, and performance in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:328–339.
- Paulo, U.2009. Factores nutricionales que afectan el desempeño en programas reproductivos en bovinos de carne y de leche. *Sitio Argentino de Producción Animal*11: 1 - 5.
- Papas, A., J. R. Ingalls, and P. Cansfield. 1978. Effects of tower and 1821 rapeseed meals and Tower gums on milk yield, milk composition and blood parameters of lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 58:671 - 679.

- Pereira, A. B. D., L. K. Zeringue, C. Leonardi, B. F. Jenny, C. C. Williams, M. E. McCormick, and V. R. Moreira. 2015. Substituting dry distillers grains with solubles and rumen-protected amino acids for soybean meal in late-lactation cows' diets based on corn silage or ryegrass silage. *J. Dairy Sci.* 98:8121–8127.
- Pichard, G., and P. J. VanSoest. 1977. Protein solubility of ruminant feeds. In *Proc. Cornell Nutr. Conf.*
- Powers, W. J., H. H. Van Horn, B. Harris Jr. and C. J. Wilcox. 1995. Effects of variable sources of distillers dried grains plus solubles on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 78:388–396.
- Prins, R. A., D. L. van Rheeën, and A. T. van Klooster. 1983. Characterization of microbial proteolytic enzymes in the rumen. *A. van Leeuwenhoek* 49:585–595.
- Ramirez-Ramirez, H. A., E. Castillo Lopez, C. J. R. Jenkins, N. D. Aluthge, C. Anderson, S. C. Fernando, K. J. Harvatine, and P. J. Kononoff. 2016. Reduced-fat dried distillers grains with solubles reduces the risk for milk fat depression and supports milk production and ruminal fermentation in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:1912–1928.
- Rhoads, M. L., R. P. Rhoads, R. O. Gilbert, R. Toole, and W. R. Butler. 2006. Detrimental effects of high plasma urea nitrogen levels on viability of embryos from lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* 91:1-10.
- Rodwell, V. 2010. Catabolismo de los esqueletos carbonatados de los aminoácidos. In: *Bioquímica Ilustrada*. pp 248 - 260.
- Roffler, R. E., and L. D. Satter. 1974. Nitrogen Requirement and Utilization in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 58:1219–1237.
- Romagnolo, L. C., C. E. Polan, and W. E. Barbeau. 1994. Electrophoretic analysis of ruminal degradability of corn proteins. *J. Dairy Sci.* 77:1093–1099.
- Rose, W.C. and Dekker, E.E. 1956. Urea as a source of nitrogen for the biosynthesis of amino acids. *J. Biol. Chem.* 223:107-121.
- Roseler, D. K., J. D. Ferguson, C. J. Sniffen, y J. Herrema. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 76:525-534.

- Roy, B., R. K. Mehla, and S. K. Sirohi. 2005. Effect of dietary feeding regimens on urea and protein concentration of milk in murrah buffaloes. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 18:973 - 979.
- Russell, J. B., C. J. Sniffen, and P. J. Van Soest. 1983. Effect of carbohydrate limitation on degradation and utilization of casein by mixed rumen bacteria. *J. Dairy Sci.* 66:763 - 775.
- Sanchez, J. M., y D. W. Claypool. 1983. Canola meal as protein supplement in dairy rations. *J. Dairy Sci.* 66: 80 - 85.
- Shingfield, K. J., A. Vanhatalo and P. Huhtanen. 2003. Comparison of heat-treated rapeseed expeller and solvent-extracted soya-bean meal as protein supplements for dairy cows given grass silage based diets. *Anim. Sci.* 77:305 - 317.
- Schingoethe, D. J., M. J. Brouk, and C. P. Birkelo. 1999. Milk production y composition from cows fed wet corn distillers grains. *J. Dairy Sci.* 82:574 - 580.
- Schingoethe, D., A. Garcia, K. Kalscheur, A. Hippen y K. Rosentrater. 2008. Sulfur in distillers grains for dairy cattle. *SDSU Extension Extra.* 4039, 6/08. South Dakota State University, Brookings.
- Schingoethe, D., A. Garcia, K. Kalscheur, A. Hippen y K. Rosentrater. 2009. Invited review: The use of distillers products in dairy cattle diets. *J. Dairy Sci.* 92:5802 – 5813.
- Schwingel, W. R., and D. B. Bates. 1996. Use of sodium dodecyl sulfate polycrystalline gel electrophoresis to measure degradation of soluble soybean proteins by *Prevotella ruminicola* GA33 or mixed ruminal microbes in vitro. *J. Anim. Sci.* 74:475–482.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2009. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/ALFALFA.pdf.
- Shingfield, K. J., A. Vanhatalo, y P. Huhtanen. 2003. Comparison of heat-treated rapeseed expeller and solvent-extracted soya- bean meal as protein supplements for dairy cows fed grass silage- based diets. *Anim. Sci.* 77:305–317.

- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Consultada el 5 de junio de junio de 2018. Disponible en <http://www.economia-sniim.gob.mx>.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2015. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap>.
- Sniffen, C. J. 1974. Nitrogen utilization as related to solubility of NPN and protein in feeds. Page 12 in Proc. Cornell Nutr. Conf.
- Stern, M. D., y L. D. Satter. 1982. In vivo estimation of protein degradability in the tureen. Page 57 in Protein requirements for cattle. Proc. Int. Syrup. F. N. Owens, ed. MP-109, Oklahoma State Univ., Stillwater, OK.
- Stern, M., y C. Ziemer. 1993. Consider value, cost when selecting nonforage fiber. Feedstuffs 65:14.
- Stoll, B., J. Henry, P.J. Reeds, H. Yu, F. Jahoor, D.G. Burrin. 1998. Catabolism dominates the firstpass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk protein-fed piglets. J. Nutr. 128:606 - 614.
- Tagari, H. and Bergman, E.N. (1978) Intestinal disappearance and portal blood appearance of amino acids in sheep. Journal of Nutrition 108, 790 - 803.
- Tamminga, S. 1979. Protein degradation in the forestomachs of ruminants. J. Anim. Sci. 49:1615–1630.
- Tamminga, S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. J. Anim. Sci. 74:3112 - 3124.
- Tan, S. H., R. J. Mailer, C. L. Blanchard, and S. O. Agboola. 2011. Canola proteins for human consumption: Extraction, profile, and functional properties. J. Food Sci. 76:16 - 28.
- Tufarelli, V., G. M. Lacalandra, V. Laudadio. 2015. Reproductive and metabolic responses of early-lactating dairy cows fed different dietary protein sources. Reprod. Dom. Anim. 50:735–739.
- Tuori, M. 1992. Rapeseed meal as a supplementary protein for dairy cows on grass silage-based diet, with the emphasis on the Nordic AAT-PBV feed protein evaluation system. Agric. Sci. Fin. 1:367– 439.
- Van Horn, H. H., O. Blanco, B. Harris Jr. and D. K. Beede. 1985. Interaction of protein percent with caloric density and protein source for lactating cows. J. Dairy Sci. 68:1682–1695.

- Westwood, C. T., I .J. Lean, R. C. Kellaway. 1998. Indications and implications for testing of milk urea in dairy cattle: a quantitative review. Part 2. Effect of dietary protein on reproductive performance. N. Z. Vet. J. 46:123-130.
- Yang, C. M., and J. B. Russell. 1992. Resistance of proline-containing peptides to ruminal degradation in vitro. Appl. Environ. Microbiol. 58:3954–3958.

ANEXOS



Evaluation of supplemental vitamin E on 56-day feedlot growth performance and plasma tocopherol concentrations in calf-fed Holstein steers

A. B. Cano, M. Montano, J. Salinas-Chavira & R. A. Zinn

To cite this article: A. B. Cano, M. Montano, J. Salinas-Chavira & R. A. Zinn (2017) Evaluation of supplemental vitamin E on 56-day feedlot growth performance and plasma tocopherol concentrations in calf-fed Holstein steers, Journal of Applied Animal Research, 45:1, 90-92, DOI: [10.1080/09712119.2015.1129340](https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1129340)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2015.1129340>



© 2015 The Author(s). Published by Taylor & Francis.



Published online: 30 Dec 2015.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 275



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Evaluation of supplemental vitamin E on 56-day feedlot growth performance and plasma tocopherol concentrations in calf-fed Holstein steers

A. B. Cano^a, M. Montano^a, J. Salinas-Chavira^b and R. A. Zinn^c

^aInstituto de Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México; ^bFacultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas, México; ^cDepartment of Animal Science, University of California, Davis, USA

ABSTRACT

Fifty-four Holstein steer calves, divided in two weight groupings (141.2 ± 4.9 kg and 454.2 ± 7.0 kg respectively), were used in a 56-day study to evaluate the influence of supplemental vitamin E on growth performance and plasma vitamin concentrations. Steers were assigned within body weight groupings to 18 pens, 3 steers/pen. Dietary treatments consisted of a steam-flaked corn-based growing-finishing diet supplemented to provide 0, 250, or 500 IU/d of vitamin E as all racemic α -tocopherol. No morbidity was apparent during the course of the study. Calves in the heavier weight grouping had greater average daily gain (24.4%, $P < .01$), dry matter intake (54.3%, $P < .01$), and lower gain efficiency (40.7%, $P < .01$). Vitamin E supplementation did not affect ($P > .10$) feedlot growth performance. Initial and 56-day plasma tocopherol were not influenced ($P > .10$) by weight grouping. Final 56-day plasma tocopherol increased linearly ($P < .01$) with level of vitamin E supplementation. Plasma tocopherol of non-supplemented steers decreased ($P = .01$) from an average initial concentration of 1.66–1.16 $\mu\text{g/mL}$ at day 56. It is concluded that vitamin E supplementation of calf-fed Holstein steers receiving a conventional steam-flaked corn-based growing-finishing diet is not expected to enhance growth performance.

ARTICLE HISTORY

Received 14 January 2015
Accepted 22 November 2015

KEYWORDS

Tocopherol; Holstein; feedlot; performance

1. Introduction

The effect of vitamin E supplementation of feedlot cattle on growth performance has not been consistent. Numerous studies (Arnold et al. 1992; Zinn et al. 1996; Rivera et al. 2002; Carter et al. 2005; Montgomery et al. 2005) have failed to show a growth performance response to supplemental vitamin E. In other instances, vitamin E supplementation enhanced daily body weight (BW) gain (Reddy et al. 1987; Pehrson et al. 1991; Burken et al. 2012). Inconsistencies in growth performance responses may be attributable to previous nutritional status, including vitamin E status, dietary vitamin E intake, and animal stress. Apart from growth performance affects, per se, vitamin E supplementation may enhance immunocompetence (Rivera et al. 2002) and carcass characteristics (Rivera et al. 2002; Montgomery et al. 2005) or meat quality as related to colour stability (Arnold et al. 1992, 1993).

The objective of the present study was to evaluate vitamin E supplementation of calf-fed Holstein steers at two feedlot phases representative of the early growing and later finishing periods.

2. Materials and methods

All animal care, handling, and sample techniques followed protocols approved by the University of California, Davis, Animal Use and Care Committee.

2.1. Experimental location

This trial was conducted at the Desert Research Center of the University of California Davis, during the period of May 13 through and 8 July 2014 (56-day feeding trial). The Desert Research Center is located in the Imperial Valley, California (32°47'31"N and 115°33'47"W). It is about 16 m below sea level, and under Sonoran desert conditions (*BWh* classification according to Köppen). This region is characterized as dry and arid with extreme temperatures in summer ($\geq 42^\circ\text{C}$), and an average annual precipitation of 85 mm.

2.2. Weather measurement and temperature humidity index (THI) estimation

Climatic variables (ambient temperature, relative humidity, solar radiation, black globe temperature, and wind speed) were obtained every 30 min from an on-site weather station (University of California Agriculture Field station) throughout the experimental period. The temperature humidity index was calculated using the following formula: $\text{THI} = 0.81 \times T + \text{RH} (T - 14.40) + 46.40$ (Hahn 1999).

2.3. Animal management

Fifty-four Holstein steer calves divided into two groups, light and heavy (initial BW = 141.2 ± 4.9 kg and BW = 454.2 ± 7.0 kg, respectively), were used in a 56-day experiment to evaluate

Table 1. Composition of basal diet fed to steers.

Item	Basal diet % DM
Steam-flaked corn	67.31
DDGS	10.00
Sudangrass hay	12.00
Molasses cane	4.00
Yellow grease	3.00
Urea	1.26
Dicalcium phosphate	0.33
Limestone	1.63
Magnesium oxide	0.15
Trace mineral salt ^a	0.30
Rumensin 90, g/ton	150
Nutrient Composition ^b	
NE, Mcal/kg	
Maintenance	2.21
Gain	1.54
Crude protein, %	14.0
Calcium, %	0.79
Phosphorus, %	0.34
Potassium, %	0.75
Magnesium, %	0.29
Sulphur, %	0.16
Vitamin E, IU/kg	21.4

Note: DDGS, distillers dried grains plus solubles; NE, net energy.

^aTrace mineral salt contained: CoSO₄, .068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, .052%; and NaCl, 92.96%.

^bBased on tabular values for individual feed ingredients (NRC 2000).

the influence of supplemental vitamin E on growth performance and plasma vitamin concentrations.

Steers were assigned within BW groupings to 12 pens, 3 steers/pen. Pens were 5.5 × 9.1 m with 27 m² of shade and were equipped with automatic waterers and fence-line feed bunks (4.3-m long). Steers in the heavy grouping were implanted with Revalor-S (Intervet Inc., Millsboro, DE) 35 day prior to initiation of this study. For calculating steer performance, initial and final BWs were reduced 4% to account for digestive tract fill.

2.4. Treatments

Dietary treatments consisted of a steam-flaked, corn-based, growing-finishing diet (Table 1) supplemented to provide 0, 250, or 500 IU/d of vitamin E as all racemic (RRR) α -tocopherol (Emcelle Tocopherol; 500 I.U. d-alpha-tocopherol/mL; Stuart Products). Based on diet formulation, the basal diet contained 21 I.U. tocopherol/kg (DM basis). Steers were provided ad libitum access to the experimental diets. Fresh feed was provided twice

daily (0600 and 1400 h). Daily application of vitamin treatments was accomplished by dilution in 30 mL of water before top dressing onto feed provided in the 0600 h feeding. On day 1 and 56, blood samples were collected from one steer per pen via jugular puncture into heparinized tubes. Subsequently, the blood was centrifuged at 1070 × *g* for 10 min. Plasma α -tocopherol analysis was conducted by the Veterinary Diagnostic Laboratory (College of Veterinary Medicine, Iowa State University, Ames, IA 50011) according to procedures described by Stahr (1991).

2.5. Statistical analyses

The experimental data were analysed as a completely randomized design with a 2 × 3 factorial arrangement of treatments according to the statistical model $Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + (BT)_{ij} + \varepsilon_{ij}$, where μ is the common experimental effect; B_i represents weight groups (df = 1), T_j represents supplemental vitamin E effect (df = 2), (BT)_{ij} represents interaction between main effects (df = 2), and ε_{ij} represents the residual error (df = 12). Treatments effects were tested by polynomial contrasts. Analysis was performed using Statistix-10 (Analytical Software, Tallahassee, FL). The experimental unit was the pen. Contrasts were considered significant when the *P*-value was ≤ .05, and tendencies were identified when the *P*-value was ≤ .10.

3. Results and discussion

Average ambient air temperature, relative humidity, and THI during the course of the study were 33.3°C, 48%, and 82.3, respectively. Total precipitation was 1.02 mm.

The effect of live weight and supplemental vitamin E on growth performance is shown in Table 2. Vitamin E supplementation of Holstein steers was evaluated at two initial weight grouping (141 vs. 454 kg). As expected, calves in the heavier weight grouping had greater average daily gain (ADG) (24.4%, *P* < .01), dry matter intake (DMI) (54.3%, *P* < .01), and lower gain efficiency (40.7%, *P* < .01). A similar response on growth performance of feedlot Holstein steers in different BWs is reported by Salinas Chavira et al. (2009).

Consistent with previous studies involving corn-based growing-finishing diets fed to Holstein steers (Arnold et al. 1992; Garber et al. 1996), vitamin E supplementation did not influence (*P* > .10) feedlot growth performance. Likewise, vitamin E supplementation at levels up to 500 IU/d did not

Table 2. Influence of live weight and vitamin E supplementation on growth performance and plasma tocopherol.

Item	Weight group		Vit E, UI / hd / d			SEM	P values		
	Light	Heavy	0	250	500		Weight group	Vitamin E	
No. of pens	12	6	6	6	6				
Live BW, Kg1									
Day 1	141.3	454.2	299.2	295.6	298.5	7.0	<.01	.95	.71
Day 56	210.7	546.4	381.9	376.6	377.2	6.6	<.01	.62	.72
ADG, Kg/d	1.24	1.64	1.48	1.45	1.40	0.05	<.01	.31	.93
DMI, Kg/d	4.59	10.05	7.37	7.37	7.21	0.16	<.01	.48	.68
ADG/DMI	0.271	0.164	0.219	0.217	0.217	0.01	<.01	.89	.92
Plasma tocopherol, µG/mL									
Day 1	1.62	1.47	1.60	1.50	1.54	0.12	.30	.72	.65
Day 56	2.13	2.35	1.21	2.40	3.11	0.20	.40	<.01	.36

enhance feedlot growth performance of beef breeds (Rivera et al. 2002; Burken et al. 2012). Health status may be a factor in short-term responses to vitamin E supplementation. Rivera et al. (2002) observed that 14-day ADG was enhanced in newly received calves infected with infectious bovine rhinotracheitis virus (IBR). However, in a second trial in which newly received calves were not infected with IBR, vitamin E supplementation did not influence growth performance during a 28-day receiving period. No morbidity was detected among cattle during the course of the present study.

Initial and 56-day plasma tocopherol were not influenced ($P > .10$) by weight grouping, averaging 1.57 and 2.21 $\mu\text{g/mL}$, respectively. Consistent with previous studies, plasma tocopherol increased linearly ($P < .01$) with the level of vitamin E supplementation (Arnold et al. 1992; Garber et al. 1996; Velasquez-Pereira et al. 2002; Yang et al. 2002; Carter et al. 2005; Cusack et al. 2005; Salinas-Chavira et al. 2014). The source of supplemental vitamin E used in this study was RRR- α -tocopherol. This is a 'natural' source of vitamin E derived from vegetable oils, primarily soybean, canola, and sunflower oils. This natural form of vitamin E is stipulated as d- α -tocopherol or, more correctly, RRR- α -tocopherol. To enhance stability in diet preparations, the RRR- α -tocopherol is converted to RRR- α -tocopheryl acetate. It was daily administered in feed and enhanced plasma tocopherol levels; further research is needed for stability of both sources of vitamin E when administered in feed with longer storage duration. Based on plasma tocopherol levels, the ester form dose did not reduce bioavailability of RRR- α -tocopherol (Hidiroglou et al. 1988, 1992). Likewise, Salinas-Chavira et al. (2014) observed similar increases in plasma tocopherol whether the vitamin was supplemented as RRR- α -tocopheryl acetate or as all-rac α -tocopheryl acetate (a racemic mixture of 8 tocopherol stereoisomers).

For non-supplemented steers, plasma tocopherol decreased ($P = .01$) from an average initial concentration of 1.66 $\mu\text{g/mL}$ to 1.16 $\mu\text{g/mL}$ at day 56. Likewise, Carter et al. (2005) observed a decline in plasma tocopherol during a 28-day study in non-supplemented cattle fed a whole shelled corn-based diet. Nevertheless, failure to observe a growth performance response is consistent with the generalization that ADG response to vitamin E supplementation is not expected unless plasma tocopherol levels are less than 1 $\mu\text{g/mL}$ (Reddy et al. 1987; Pehrson et al. 1991).

4. Conclusion

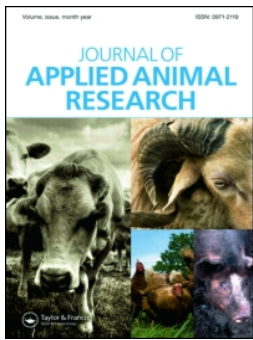
Vitamin E supplementation of calf-fed Holstein steers receiving a conventional steam-flaked corn-based growing-finishing diet is not expected to enhance their feedlot growth performance.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

- Arnold RN, Arp SC, Scheller KK, Williams SN, Schaefel DM. 1993. Tissue equilibration and subcellular distribution of vitamin E relative to myoglobin and lipid oxidation in displayed beef. *J Anim Sci.* 71:105–118.
- Arnold RN, Scheller KK, Arp SC, Williams SN, Buege DR, Schaefer DM. 1992. Effect of long- or short-term feeding of α -tocopheryl acetate to Holstein and crossbred beef steers on performance, carcass characteristics, and beef color stability. *J Anim Sci.* 70:3055–3065.
- Burken DB, Hicks RB, VanOverbeke DL, Hilton GG, Wahrmund JL, Holland BP, Krehbiel CR, Camfield PK, Richards CJ. 2012. Vitamin E supplementation in beef finishing diets containing 35% wet distillers grains with solubles: feedlot performance and carcass characteristics. *J Anim Sci.* 90:1349–1355.
- Carter JN, Gill DR, Krehbiel CR, Confer AW, Smith RA, Lalman DL, Claypool PL, McDowell LR. 2005. Vitamin E supplementation of newly arrived feedlot calves. *J Anim Sci.* 83:1924–1932.
- Cusack PMV, McMeniman NP, Lean IJ. 2005. The physiological and production effects of increased dietary intake of vitamins E and C in feedlot cattle challenged with bovine herpesvirus. *J Anim Sci.* 83:2423–2433.
- Garber MJ, Roeder RA, Davidson PM, Pumfrey WM, Schelling GT. 1996. Dose-response effects of vitamin E supplementation on growth performance and meat characteristics in beef and dairy steers. *Can J Anim Sci.* 76:63–72.
- Hahn GL. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J Anim Sci.* 77(Suppl. 2):10–12.
- Hidiroglou N, Laflamme LF, McDowell LR. 1988. Blood plasma and tissue concentrations of vitamin E in beef cattle as influenced by supplementation of various tocopherol compounds. *J Anim Sci.* 66:3227–3234.
- Hidiroglou N, McDowell LR, Papas AM, Antapli M, Wilkinson NS. 1992. Bioavailability of vitamin E compounds in lambs. *J Anim Sci.* 70:2556–2561.
- Montgomery SP, Drouillard JS, Sindt JJ, Greenquist MA, Depenbusch BE, Good EJ, Loe ER, Sulpizio MJ, Kessen TJ, Ethington RT. 2005. Effects of dried full-fat corn germ and vitamin E on growth performance and carcass characteristics of finishing cattle. *J Anim Sci.* 83:2440–2447.
- NRC. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Updated 7th rev. ed. Washington, DC: National Academies Press.
- Pehrson B, Hakkarainen J, Törnquist M, Edfors K, Fossum C. 1991. Effect of vitamin E supplementation on weight gain, immune competence, and disease incidence in barley-fed beef cattle. *J Dairy Sci.* 74:1054–1059.
- Reddy PG, Morrill JL, Frey RA. 1987. Vitamin E requirement of dairy calves. *J Dairy Sci.* 70:123–129.
- Rivera JD, Duff GC, Galyean ML, Walker DA, Nunnery GA. 2002. Effects of supplemental vitamin E on performance, health, and humoral immune response of beef cattle. *J Anim Sci.* 80:933–941.
- Salinas-Chavira J, Arrizon AA, Barreras A, Chen CZ, Plascencia A, Zinn RA. 2014. Evaluation of supplemental vitamin A and E on 56-day growth performance, dietary net energy, and plasma retinol and tocopherol concentrations in Holstein steer calves. *Prof Anim Sci.* 30:510–514.
- Salinas-Chavira J, Lenin J, Ponce E, Sanchez U, Torrentera N, Zinn RA. 2009. Comparative effects of virginiamycin supplementation on characteristics of growth-performance, dietary energetics, and digestion of calf-fed Holstein steers. *J Anim Sci.* 87:4101–4108.
- Stahr HM. 1991. Analytical methods in toxicology. New York, NY: Wiley.
- Velasquez-Pereira J, Aréchiga CF, McDowell LR, Hansen PJ, Chenoweth PJ, Calhoun MC, Risco CA, Batra TR, Williams SN, Wilkinson NS. 2002. Effects of gossypol from cottonseed meal and dietary vitamin E on the reproductive characteristics of superovulated beef heifers. *J Anim Sci.* 80:2485–2492.
- Yang A, Brewster MJ, Lanari MC, Tume RK. 2002. Effect of vitamin E supplementation on α -tocopherol and β -carotene concentrations in tissues from pasture- and grain-fed cattle. *J Meat Sci.* 60:35–40.
- Zinn RA, Alvarez E, Stuart RL. 1996. Interaction of supplemental vitamin A and E on health and performance of crossbred and Holstein calves during the receiving. *Prof Anim Sci.* 12:17–23.



Influence of dietary cation–anion difference in finishing diets fed to Holstein steers during periods of high ambient temperature on feedlot performance and digestive function

Carlos Antonio Pacheco, Martin Francisco Montano-Gomez, Noemi Guadalupe Torrentera, Jaime Salinas-Chavira, Jose de Jesus Ortiz, Aris Bionel Cano & Ricard Avery Zinn

To cite this article: Carlos Antonio Pacheco, Martin Francisco Montano-Gomez, Noemi Guadalupe Torrentera, Jaime Salinas-Chavira, Jose de Jesus Ortiz, Aris Bionel Cano & Ricard Avery Zinn (2018) Influence of dietary cation–anion difference in finishing diets fed to Holstein steers during periods of high ambient temperature on feedlot performance and digestive function, Journal of Applied Animal Research, 46:1, 729-733, DOI: [10.1080/09712119.2017.1392311](https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1392311)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2017.1392311>



© 2017 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group



Published online: 24 Oct 2017.



Submit your article to this journal [↗](#)



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Influence of dietary cation–anion difference in finishing diets fed to Holstein steers during periods of high ambient temperature on feedlot performance and digestive function

Carlos Antonio Pacheco^a, Martin Francisco Montano-Gomez^a, Noemi Guadalupe Torrentera^a, Jaime Salinas-Chavira^b, Jose de Jesus Ortiz^a, Aris Bionel Cano^a and Ricard Avery Zinn^c

^aDepartment of Nutrition and Biotechnology of Ruminants, Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias – UABC, Mexicali, México;

^bDepartment of Animal Nutrition, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, México;

^cDepartment of Animal Science, University of California, Davis, CA, USA

ABSTRACT

One hundred twenty-six Holstein steers (457.1 ± 27.5 kg BW) were used in a 127-d experiment to evaluate the influence of dietary cation–anion difference (DCAD) on growth performance and carcass characteristics. Treatments consisted of steam-flaked corn-based diets supplemented to provide DCAD of 34, 84 or 134 mEq/kg diet DM. There was no treatment effect ($P > .20$) on ADG, DMI, gain efficiency or dietary NE. Six Holstein steers (196 ± 3 kg) with cannulas in rumen and proximal duodenum were used in a replicated 3×3 Latin Square design to evaluate treatment effects on digestion characteristics. The DCAD did not affect ($P > .20$) ruminal or total digestion of OM, NDF, starch and N, or ruminal pH and VFA molar proportions. It is concluded that increasing DCAD of Holstein steers fed a conventional steam-flaked corn-based diet under conditions of high ambient temperature will not enhance growth performance.

ARTICLE HISTORY

Received 7 June 2017

Accepted 12 September 2017

KEYWORDS

Cation–anion; heat stress; growth performance; digestion; cattle

1. Introduction

The anion–cation difference (DCAD) is represented as the possible negative or positive charge produced by nonmetabolizable dietary ion mixtures (Tucker et al. 1988). In its simplest form, DCAD is the difference in concentration of the major cations (Na + K) and anions (Cl + S) per kg of diet DM (Block 1984; Beighle et al. 1988). Diets with low or negative DCAD decrease blood and urine pH, and increase blood Ca solubility (Apper-Bossard et al. 2006). Heat stress increases respiratory CO₂ loss (respiratory alkalosis), and Na and K loss (coupled with bicarbonate ions) via elevated sweat and urine production. In principle, corrections in blood acid–base balance and associated electrolyte losses may be achieved through modification of the DCAD. Diets formulated with DCAD of 250 mEq/kg DM have been recommended for optimal growth in chickens (Mongin 1981) and pigs (Austic and Calved 1981; Patience et al. 1987), and 200–370 mEq/kg DM for optimal milk yield in lactating dairy cattle (Tucker et al. 1988; West et al. 1991). The DCAD is usually manipulated by the addition of weak buffers such as NaHCO₃, KHCO₃ and K₂CO₃. In ruminants, dietary modifications of this nature may, of themselves, directly alter ruminal pH, with associated effects on ruminal microbial efficiency, digestion and DMI. Changes in dietary salt concentrations to bring about modifications in DCAD may also directly affect diet palatability or acceptability, and hence, DMI. The influence of DCAD modifications on performance of feedlot cattle has received limited attention. Colgan and Mader (2007) evaluated

effects of DCAD on ability of cross-bred yearling feedlot steers to cope with moderate (average maximum temperature, 29.4°C; average relative humidity, 74%) summer heat stress during the final 67 d on feed. Increasing DCAD of dry rolled corn-based finishing diet from 91 to 294 mEq/kg did not affect ADG, DMI or gain efficiency. Ross et al. (1994) evaluated effects of DCAD on 84-d feedlot performance of cross-bred steers fed a cracked corn-based finishing diet (climatic conditions or season were not specified). Increasing DCAD from approximately 40 to 350 mEq/kg decreased DMI and ADG, but did not affect gain efficiency.

The role of DCAD on growth performance of calf-fed Holstein steers has not been directly assessed. During periods of high ambient temperature characteristic of the desert Southwest (USA), DMI, and hence, ADG and gain efficiency of Holstein steers are markedly depressed. This depression is most apparent during the late finishing phase (Torrentera et al. 2017). The objective of this study was to evaluate the potential benefit of increasing DCAD in finishing diets on performance of Holstein steers when the late finishing phase coincides with the summer period of very high ambient temperature.

2. Materials and methods

All procedures involving animal care and management were in accordance with and approved by the University of California, Davis, Animal Use and Care Committee.

CONTACT Martin Francisco Montano-Gomez  martinmg@uabc.edu.mx  Department of Nutrition and Biotechnology of Ruminants, Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias – UABC, Mexicali, Baja California, México

© 2017 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Experiment 1: Influence of dietary cation–anion balance in finishing diets during a period of high ambient temperature on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics

Experimental location

This trial was conducted at the Desert Research Center of the University of California, Davis, during the period of (May–September) (127-d feeding trial). The Desert Research Center is located in the Imperial Valley, California (32° 47' 31" N and 115° 33' 47"W). It is about 16 m below sea level and under Sonoran desert conditions (*BWh* classification according to Köppen). This region is characterized as dry and arid with extreme temperatures in summer ($\geq 42^{\circ}\text{C}$), and an average annual precipitation of 85 mm.

Weather measurement and THI estimation

Climatic variables (ambient temperature, relative humidity, solar radiation, black globe temperature and wind speed) were obtained every 30 min from an on-site weather station (UC Agriculture Field station) throughout the experimental period. The temperature humidity index was calculated using the following formula: $\text{THI} = 0.81 \times T + \text{RH} (T - 14.40) + 46.40$ (Mader et al. 2006).

Animal management

One hundred twenty-six calf-fed Holstein steers (457.1 ± 27.5 kg BW) were used in a 127-d experiment to evaluate the influence of increasing levels of dietary cation–anion balance (DCAD) during the seasonally hot months of May through September on growth performance and carcass characteristics. Steers were blocked by weight and randomly assigned within weight groupings to 18 pens (7 steers per pen). Pens were 43 m² with 22 m² overhead shade, automatic waterers and 2.4 m fence-line feed bunks.

Treatments

Three dietary DCAD levels were evaluated: 34, 84 and 134 mEq/kg diet DM, where $\text{DCAD} = (\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + \text{S})$. Dietary DCAD levels were obtained by supplementation of a steam-flaked corn-based finishing diet with 0, 5 or 10 g $\text{KHCO}_3/\text{kg DM}$, respectively (Table 1). Steers were allowed ad libitum access to feed and water. Fresh feed was added twice daily. On day 35, steers were implanted Synovex-Plus® (Zoetis Inc., Kalamazoo, MI).

Estimations of performance and dietary energy

Energy gain (EG, Mcal/d) was calculated by the equation: $\text{EG} = \text{ADG}^{1.095} \times 0.0557\text{W}^{0.75}$ (NRC 1984). Maintenance energy (EM, Mcal/d) was calculated by the equation: $\text{EM} = 0.084\text{W}^{0.75}$ (Lofgreen and Garrett 1968). From the derived estimates of energy required for maintenance and gain, the NEm and NEg values of the diet were obtained using the quadratic formula: $x = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})/2a$, where $a = -1.716\text{EM}$, $b = 0.877\text{EM} + 1.716\text{DMI} + \text{EG}$ and $c = -0.877\text{DMI}$, and $\text{NEg} = 0.877$, $\text{NEm} = -1.716$ (Zinn and Shen 1998).

Statistical analyses

For calculating steer performance, initial and final full weights were reduced 4% to account for digestive tract fill. Pens were

Table 1. Composition of experimental diets fed to steers (Experiments 1 and 2)^a.

Item	DCAD, mEq/kg DM		
	34	84	134
Ingredient composition, g/kg DM basis			
Alfalfa, hay	120.0	120.0	120.0
Steam-flaked corn	747.8	742.8	737.8
Yellow grease	40.0	40.0	40.0
Cane molasses	60.0	60.0	60.0
Urea	10.0	10.0	10.0
Limestone	12.0	12.0	12.0
Potassium bicarbonate	0.00	5.00	10.0
Magnesium oxide	2.2	2.2	2.2
Dicalcium phosphate	4.0	4.0	4.0
Trace mineral salt ^b	4.0	4.0	4.0
Net energy			
NEm, Mcal/kg	9.37	9.33	9.25
NEg, Mcal/kg	6.49	6.44	6.40
Nutrient composition, g/kg DM basis ^c			
CP	126.6	126.1	125.7
NDF	117.7	117.3	116.8
Ether extract	75.3	75.1	74.9
Calcium	8.0	8.0	8.0
Phosphorus	3.4	3.4	3.4
Sodium	1.9	1.9	1.9
Chlorine	5.1	5.1	5.1
Potassium	8.0	10.0	11.9
Magnesium	2.9	2.9	2.9
Sulphur	2.0	2.0	2.0

^aChromic oxide (0.40%) was added as digesta marker in Experiment 2.

^bTrace mineral salt contained: CoSO_4 , 0.68%; CuSO_4 , 1.04%; FeSO_4 , 3.57%; ZnO , 1.24%; MnSO_4 , 1.07%; KI , 0.052%; and NaCl , 92.96%.

^cBased on tabular values for individual feed ingredients (NRC, 1996).

used as experimental units (six pens per treatment). Data were analysed as a randomized complete block design experiment (Hicks 1973) using the GLM procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The effects of increasing levels of DCAD in diet on response variables were tested for linear and quadratic components by means of polynomial contrasts, with contrast coefficients adjusted for unequal spacing.

Experiment 2, influence of dietary cation–anion balance in finishing diets on digestion characteristics

Animals and sampling

Six Holstein steers (196 ± 3 kg) with cannulas in rumen and proximal duodenum were used in a replicated 3×3 Latin Square Design to evaluate treatment effects on characteristics of digestion. Diets were the same as in Experiment 1 with the addition of 0.4% chromic oxide as a digestion marker. Steers were maintained in individual pens with access to water at all times. Diets were fed at 08:00 and 20:00 daily. Dry matter intake was restricted to 22 g feed/kg BW.

The experiment consisted of 3 experimental periods of 14 d each; 10-d diet adjustment followed by 4-d collection. During the collections, duodenal and fecal samples were taken from each steer, twice daily over a period of 4 successive days as follows: day 1, 07:50 and 13:50; day 2, 09:00 and 15:00; day 3, 10:50 and 16:50; and day 4, 12:00 and 18:00. Individual samples consisted of approximately 500 mL duodenal chyme and 200 g (wet basis) fecal material. Samples from each steer and within each collection period were composited for analysis. During the final day of each collection period, ruminal samples were obtained from each steer at approximately 4 h after feeding for ruminal pH, and subsequently, 2 mL of freshly prepared 25%

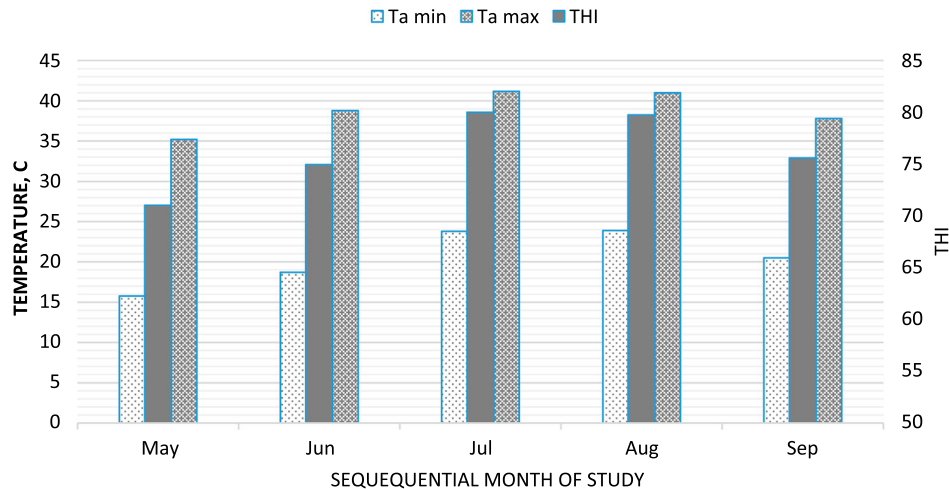


Figure 1. Sequential monthly average minimum and maximum air temperature (Ta) and temperature humidity index (THI) during the course of the study.

Table 2. Treatment effects on growth performance and dietary NE of Holstein steers during the late finishing phase (last 127 d on feed, Experiment 1).

Item	DCAD, mEq/kg DM			Linear	Quadratic	SEM
	34	84	134			
Pen replications	6	6	6			
Body weight ^a , kg						
Initial	454.8	458.0	458.6	0.22	0.41	2.1
Final	596.1	593.6	596.9	0.86	0.46	3.1
ADG, kg/d	1.11	1.07	1.09	0.51	0.30	0.02
DMI, kg/d	8.75	8.80	8.80	0.74	0.86	0.12
ADG/DMI	0.128	0.121	0.124	0.34	0.21	0.003
Dietary NE, Mcal/kg						
Maintenance ^b	2.22	2.16	2.19	0.47	0.29	0.03
Gain ^c	1.53	1.48	1.51	0.47	0.29	0.03
Observed/expected NE						
Maintenance	0.991	0.970	0.987	0.83	0.29	0.014
Gain	0.989	0.962	0.983	0.82	0.29	0.017

^aInitial and final live weights reduced 4% to account for fill.

^bKidney, pelvic and heart fat as a percentage of carcass weight.

^cUsing 3.0 as minimum slight, 4.0 as minimum small, 5.0 as moderate and 6 as slightly abundant.

(w/v) metaphosphoric acid was added to 8 mL of strained ruminal fluid. Samples were then centrifuged (17,000× for 10 min) and supernatant fluid stored at −20°C for VFA analysis.

Sample analysis and calculations

Upon completion of the trial, ruminal fluid was obtained from all steers and composited for isolation of ruminal bacteria via differential centrifugation (Bergen et al. 1968). Feed, duodenal and fecal samples were oven dried at 105°C until no further weight was lost, ground in a lab mill (Micro-Mill; Bel-Arts Products, Pequannock, NJ) and stored in tightly sealed glass jars for further analysis. Samples were subjected to all or part of the following analysis: DM (oven drying at 105°C until no further weight loss); ash; ammonia N; Kjeldahl N (981.10; AOAC 1986); aNDFom (Van Soest et al. 1991); purines (Zinn and Owens 1986); chromic oxide (Hill and Anderson 1958); starch (Zinn 1990). Microbial OM (MOM) and N (MN) leaving the abomasum were calculated using purines as a microbial marker (Zinn and Owens 1986). Organic matter fermented in the rumen (OMF) was considered equal to OM intake minus the difference between the amount of total OM reaching the duodenum and MOM reaching the duodenum. Feed N escape to the small intestine was considered equal to total N leaving

the abomasum minus ammonia-N and MN and, thus, includes any endogenous contributions.

Methane production was calculated based on the theoretical fermentation balance for observed molar distribution of VFA and OM fermented in the rumen (Wolin 1960). Primary assumptions are that VFA, CO₂ and methane are the sole end products of fermentation and that glucose represents the fermentable substrate (OM fermented is expressed as glucose equivalent).

Data analysis and statistics

Data were analysed as a replicated 3 × 3 Latin Square Design (Hicks 1973) using the GLM procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The effects of increasing levels of DCAD in diet on response variables were tested for linear and quadratic components by means of polynomial contrasts with contrast coefficients adjusted for unequal spacing.

3. Results and discussion

Experiment 1

There was no precipitation during the study. Relative humidity averaged 38%. Minimum and maximum ambient temperatures

Table 3. Treatment effects on characteristics of ruminal and total tract digestion (Experiment 2).

Item	DCAD, mEq/kg DM			Linear	Quadratic	SEM
	34	84	134			
Steer replications	3	3	3			
Intake, g/d						
DM ^a	4309	4309	4309			
OM	4045	4045	4045			
NDF	647	647	647			
N	83	83	83			
Starch	2011	2011	2011			
Flow to the duodenum, g/d						
OM	2275	2250	2297	0.91	0.83	104
NDF	418	364	394	0.67	0.43	30
Starch	596	627	657	0.58	0.99	57
N	98.4	94.3	95.5	0.71	0.70	4.2
Microbial N	58.3	55.7	56.2	0.71	0.75	3.0
Non-ammonia	94.8	91.0	91.9	0.71	0.73	4.2
N						
Feed N	36.5	35.3	35.7	0.81	0.77	1.7
Ruminal digestion, g/kg						
OM	582	582	571	0.76	0.87	19
NDF	354	437	391	0.67	0.43	47
Starch	704	688	673	0.58	0.99	28
Feed N	563	577	572	0.81	0.77	21
Microbial	25.6	24.0	24.3	0.71	0.75	1.9
efficiency ^b						
Protein efficiency ^c	1.14	1.09	1.10	0.71	0.73	0.05
Fecal excretion, g/d						
DM	895	868	915	0.81	0.63	46.8
OM	770	752	795	0.77	0.68	45.3
NDF	328	294	315	0.79	0.52	25.1
Starch	24.7	35.4	52.0	0.25	0.86	10.5
N	29.4	29.9	30.7	0.63	0.97	1.4
Post-ruminal digestion, g/kg of flow to duodenum						
OM	660	664	652	0.71	0.63	11
NDF	210	190	163	0.52	0.96	38
Starch	958	944	920	0.22	0.82	13
N	699	680	678	0.47	0.71	14
Total tract digestion, g/kg						
DM	792	799	788	0.81	0.63	11
OM	810	814	803	0.77	0.68	11
NDF	493	545	513	0.79	0.52	39
Starch	988	982	974	0.25	0.86	5
N	647	641	632	0.63	0.97	17

^a Dry matter intake was restricted to 22 g feed/kg BW.^b Microbial N, g/kg OM fermented.^c Non-ammonia N flow to the small intestine as a fraction of N intake.

averaged 20.5 and 38.8°C, respectively. The daily average and maximum THI were 76.2 ± 3.7 and 82.6 ± 2.9 , respectively (Figure 1). In accordance with nominal coding (Normal THI < 74; Alert 75 < THI < 78; Danger 79 < THI < 83; and Emergency

THI > 84; Mader et al. 2006), cattle experienced 'alert' or greater ambient conditions throughout the course of the study.

During the late finishing phase (last 127 d on feed), and notwithstanding the elevated THI, increasing DCAD did not affect ($P > .20$) ADG, DMI, gain efficiency or dietary NE (Table 2). Colgan and Mader (2007) observed that addition of 2.1% KHCO_3 to increase the DCAD of a dry rolled corn-based finishing diet from 91 to 294 mEq/kg did not affect ADG or gain efficiency of angus-cross steers during their late finishing phase (average daily THI, 71.4). The addition of KHCO_3 did, however, increase water intake 22% (from 2.92 to 3.61 L/kg DMI). In contrast, the addition of 1.1% NaCl did not affect water intake. Likewise, Luebke et al. (2011) did not observe an effect of DCAD (−160 vs +200 mEq/kg DM) on growth performance of feedlot steers during a summer finishing period (June through October). In a 113-d trial conducted during the summer months of June through September, Sexson et al. (2010) observed that increasing the DCAD level from 37 to 102 mEq/kg DM in a steam-flaked corn-based finishing diet did not affect ADG. However, it increased (3.2%) estimated dietary NE. They attributed this response to a potential buffering effect of the added K_2CO_3 , as increasing DCAD also tended to reduce the incidence of liver abscess. Ross et al. (1994) evaluated effects of DCAD on 84-d feedlot performance of cross-bred steers fed a cracked corn-based finishing diet (climatic conditions or season were not specified). Increasing DCAD from approximately 40 to 350 mEq/kg decreased DMI and ADG, but did not affect gain efficiency.

Experiment 2

Increasing DCAD did not affect ($P > .20$) ruminal or total digestion of DM, OM, NDF, N or starch ($P > .20$; Table 3). The influence of DCAD, on site and extent of digestion of feedlot diets has received limited attention. Likewise, increasing DCAD of a steam-flaked corn-based finishing diet from 16 to 104 mEq/kg did not influence ruminal site and extent of digestion of OM, fibre, starch or N (Zinn 1991; Zinn and Borquez 1993).

There were no treatment effects ($P > .20$) on ruminal pH, total VFA, or molar proportions of acetate, propionate and butyrate, or estimated methane production (Table 4). Ross et al. (1994) did not observe an effect of increasing DCAD from −9 to +350 mEq/kg in a cracked corn-based finishing diet on ruminal pH and VFA molar concentrations. Likewise, Zinn and Borquez (1993) observed that increasing DCAD of a steam-flaked corn-based finishing diet from 16 to 104 mEq/kg did not influence ruminal pH, VFA molar proportions or estimated methane production. In other instances (Russell et al. 1980; Zinn 1991), the increasing DCAD (from approximately 15 to 120 mEq/kg) in high grain finishing diets increased ruminal pH and decreased propionate molar proportions.

4. Conclusion

During periods of high ambient temperature, increasing DCAD from 34 to 134 mEq/kg DM in a steam-flaked corn-based finishing diet did not appreciably influence feedlot growth performance of Holstein steers or characteristics of ruminal and total tract digestion.

Table 4. Treatment effects on ruminal pH and VFA molar proportions and estimated methane production (Experiment 2)^a.

Item	DCAD, mEq/kg DM			Linear	Quadratic	SEM
	34	84	134			
Ruminal pH	5.80	6.03	5.99	0.35	0.42	0.10
Total VFA, mM	71.6	69.2	66.8	0.42	0.99	3.0
Ruminal VFA, mol/100 mol						
Acetate	61.9	61.9	59.7	0.40	0.61	1.2
Propionate	29.1	28.6	29.5	0.91	0.84	1.9
Butyrate	9.0	9.5	10.8	0.28	0.71	0.7
Acetate/propionate	2.1	2.4	2.04	0.82	0.52	0.3
Methane ^b	0.51	0.52	0.50	0.76	0.79	0.02

^a Dry matter intake was restricted to 2.2% of BW.^b Methane production (mol/mol glucose equivalent fermented) was estimated based on the theoretical fermentation balance for observed molar distribution of VFA (Wolin 1960).

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

- AOAC. 1986. Official methods of analysis, 14th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. 155.
- Apper-Bossard E, Peyraud JL, Faverdin P, Meschy F. 2006. Changing dietary cation–anion difference for dairy cows fed with two contrasting levels of concentrate in diets. *J Dairy Sci.* 89:749–760.
- Austic RE, Calved CC. 1981. Nutritional interrelationships of electrolytes and amino acids. *Fed Proc.* 40:63.
- Beighle DE, Tucker WB, Hemken RW. 1988. Interactions of dietary cation–anion balance and phosphorus: effects on growth and serum inorganic phosphorus in dairy calves. *J Dairy Sci.* 71:3362–3368.
- Bergen WG, Purser DB, Cline JH. 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J Anim Sci.* 27:1497–1501.
- Block E. 1984. Manipulating dietary anions and cations for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever. *J Dairy Sci.* 67:2939–2948.
- Colgan S, Mader TL. 2007. Feeding potassium bicarbonate and sodium chloride in finishing diets. *Nebraska Beef Cattle Rep.* 82:77–79. <http://digitalcommons.unl.edu/animalscinber/82>
- Hicks CR. 1973. Fundamental concepts in the design of experiments. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Hill FN, Anderson DL. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *J Nutr.* 64:587–603.
- Lofgreen GP, Garrett WN. 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *J Anim Sci.* 27:793–806, 1968.
- Luebke MK, Erickson GE, Klopfenstein TJ, Greenquist MA, Benton JR. 2011. Effect of dietary cation–anion difference on urinary pH, feedlot performance, nitrogen mass balance, and manure pH in open feedlot pens. *J Anim Sci.* 89:489–500.
- Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci.* 84:712–719.
- Mongin P. 1981. Recent advances in dietary anion–cation balance: applications in poultry. *Proc Nutr Soc.* 40:285–294.
- NRC. 1996. Nutrient requirement of beef cattle. 6th Rev. Ed. Washington, DC: National Academy Press.
- Patience JF, Austic RE, Boyd RD. 1987. Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid–base status in swine. *J Anim Sci.* 64:457.
- Ross JG, Spears JW, Garlich JD. 1994. Dietary electrolyte balance effects on performance and metabolic characteristics in finishing steers. *J Anim Sci.* 72:1600–1607.
- Russell JR, Young AW, Jorgensen NA. 1980. Effect of sodium bicarbonate and limestone additions to high grain diets on feedlot performance and ruminal and fecal parameters in finishing steers. *J Anim Sci.* 51:996–1002.
- Sexson JL, Wagner JJ, Engle TE, Spears JW. 2010. Effects of water quality and dietary potassium on performance and carcass characteristics of yearling steers. *J Anim Sci.* 2009. 88:296–305.
- Torrentera N, Plascencia A, Salinas-Chavira J, Zinn RA. 2017. Influence of implant strategy on growth performance and carcass characteristics of calf-fed Holstein steers. *Prof Anim Sci.* 33:327–333.
- Tucker WB, Harrison GA, Hemken RW. 1988. Influence of dietary cation–anion balance on milk, blood, urine, and rumen fluid in lactating dairy cattle. *J Dairy Sci.* 71:346–354.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* 74:3583–3597.
- West JW, Mullinix BG, Sandifer TG. 1991. Changing dietary electrolyte balance for dairy cows in cool and hot environments. *J Dairy Sci.* 74:1662–1674.
- Wolin MJ. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. *J Dairy Sci.* 43:1452–1459.
- Zinn RA, Borquez JL. 1993. Influence of sodium bicarbonate and monensin on utilization of a fat-supplemented, high-energy growing-finishing diet by feedlot cattle. *J Anim Sci.* 71:18–25.
- Zinn RA, Owens FN. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can J Anim Sci.* 66:157–166.
- Zinn RA. 1990. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in steers. *J Anim Sci.* 68:776–781.
- Zinn RA. 1991. Comparative feeding value of steam-flaked corn and sorghum in finishing diets supplemented with or without sodium bicarbonate. *J Anim Sci.* 69:905–916.
- Zinn RA, Shen Y. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J Anim Sci.* 76:1280–1289.