

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



**EFFECTO DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HENO DE ALFALFA POR
DIFERENTES FUENTES DE PROTEÍNA VEGETAL SOBRE PRODUCCIÓN Y
COMPOSICIÓN DE LECHE EN VACAS HOLSTEIN**

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

PRESENTA:

M. V. Z. Gabriel López Castillo

DIRECTOR:

Dr. Martín Francisco Montaña Gómez

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

FEBRERO, 2017.

Efecto de sustitución parcial de Heno de alfalfa por diferentes fuentes de proteína vegetal sobre producción y composición de leche en vacas Holstein. Tesis presentada por **Jesús Adel Yocupicio Rocha**. Ésta Tesis fue revisada bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de: Maestro en Ciencias Veterinarias. Mexicali, Baja California, enero 2017.

Dr. Martín Francisco Montaña Gómez
Director de Tesis

Dr. Víctor Manuel González Vizcarra
Asesor

M.C. José Melendrez Lozano
Asesor

M.C. Miguel Ángel Vega Casarez
Asesor

M.C. Ramón Manuel Valenzuela Padilla
Asesor

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, FEBRERO DE 2017.

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Autónoma de Baja California, al Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias que han brindado las condiciones necesarias para llevar a cabo este y otros proyectos en pro de la investigación.

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

Mi más infinito agradecimiento al Dr. Martín Francisco Montaña Gómez que siempre se mostró paciente, con una actitud proactiva a las peticiones e inquietudes que a lo largo de estos dos años se fueron presentando.

A todos los profesionistas, profesores, amigos y en especial a todos aquellos que de forma desinteresada llegaron a aportar cualquier idea y ayudaron a dilucidar mis dudas, por su paciencia y compromiso, que otorgan la base fundamental de mi desarrollo como persona y profesionista, por los sabios consejos llenos de experiencia, enseñanza y sabiduría, que gracias a ello sabré afrontar de mejor manera los problemas y obstáculos que a diario me enfrentaré. Gracias por enseñarme el sentido de la ética y el profesionalismo ante cualquier circunstancia.

A mis padres, que resumiré el agradecimiento al gran apoyo que me han dado, a decir que sin el apoyo de ellos y mi familia no estuvieran plasmadas estas palabras y todo el gran esfuerzo que ellas conllevan. Muchas gracias por guiarme por el camino correcto, sus enseñanzas y consejos siempre los voy a tener presentes y nunca los olvidaré.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia de dos suplementos proteicos en sustitución parcial de heno de alfalfa en dietas para vacas Holstein. Se utilizaron 12 vacas Holstein multíparas (más de 2 partos) en su primer tercio de lactación. Cada unidad experimental se asignó a una corraleta con comedero individual y bebedero automático compartido para dos unidades experimentales. Los tres tratamientos consistieron en la inclusión parcial de uno de los dos suplementos proteicos –pasta de soya o pasta de canola- en sustitución de la fuente de proteína de la dieta control que contenía como fuente de proteína heno de alfalfa. El porcentaje de inclusión del suplemento proteico representó el 20% de la proteína cruda del tratamiento control en sustitución parcial de la alfalfa. El experimento tuvo una duración de 15 días de adaptación a los tratamientos y 42 días de pesado de leche y toma de muestras. 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 hr. Se realizaron los análisis correspondientes para grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos y nitrógeno ureico en leche y sangre (NUL y NUS). Los análisis se llevaron a cabo en el Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la UABC. No se mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) para producción de leche, sus componentes, rendimiento de sus componentes ni para las concentraciones de NUS y NUL. El valor de asociación observado entre NUL y NUS fue de $r=0.69$. La sustitución de cualquiera de los suplementos proteicos de origen vegetal en sustitución parcial de heno de alfalfa como fuente de proteína vegetal en la dieta mantiene sin alteración la producción y composición de la leche, así mismo los niveles de NUL y NUS se mantuvieron dentro de los rangos normales, lo cual posiblemente indica que la eficiencia de utilización de proteína para los suplementos proteicos usados en estos experimentos es similar entre ellos. El sustituto recomendado a utilizar, dependerá de la oferta y demanda según la región donde se plantee su uso y un correcto balance de proteína y energía en la dieta.

ABSTRACT

The objective of present study was to evaluate the efficiency of two protein supplements in partial substitution of alfalfa hay in dairy cow's diets. Twelve Holstein cows which were in their first third of lactation were used. Each experimental unit was assigned to a pen with its own individual feeder and automatic water dispenser shared for two experimental units. All three treatments consisted of the inclusion of one of both different protein supplements – soybean meal or canola meal- in substitution for the protein source of the control diet compared against the control diet which contained alfalfa hay as a protein supplement. The percentage of inclusion of protein supplement represented 20% of contain of total crude protein from the control diet in partial substitution of alfalfa hay. The trial was separated into 15 days for treatment adaptation and 42 days of milk weighing and sampling. The weighing and milk sampling were performed on Fridays during milking of 04:30 and 16:30 hours. The corresponding analyzes were performed for fat, protein, lactose, solids not fat and milk and blood urea nitrogen (MUN and BUN). The analyzes were performed in "Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias" of UABC. Significant differences weren't found ($P > 0.05$) for milk production, its components and yield of milk, as well as concentrations of MUN and BUN. Observed associative value between MUN and BUN was about $r=0.69$. The substitution of both protein supplement of vegetable origin in partial substitution of alfalfa hay as a protein source on the diet maintains the milk production and composition without alteration. Also the BUN and MUN levels kept between normal ranges. This possibly indicates that the efficiency of protein usage for the protein supplements used in these trials were similar. The recommended protein source to use depends on the supply and demand according to the region where it is proposed to use and a correct balance of protein and energy in the diet.

INTRODUCCIÓN.

Las vacas lecheras deben ser alimentadas con altas cantidades de proteína de gran valor, ya que usualmente la degradación de la proteína bacteriana no está acoplada a la síntesis microbiana de proteína (MPS), lo cual conlleva usualmente a un incremento de la producción de amoníaco (NH_3), mismo que es convertido a urea en hígado y finalmente excretado mediante la orina. Incrementando el nivel de almidón rápidamente degradable en rumen, ya sea aumentando el contenido dietético de maíz roloado con alta humedad (Vagnoni y Broderick, 1997) o moliendo finalmente el maíz de alta humedad (Ekinci y Broderick, 1997) se reducen las concentraciones ruminales de amoníaco e incrementa la proteína de la leche (Ekinci y Broderick, 1997; Vagnoni y Broderick, 1997) probablemente a partir de la síntesis microbiana de proteína (Vagnoni y Broderick, 1997). La forma del nitrógeno ruminalmente degradable también tiene un efecto en el crecimiento microbial y la producción de proteína. Santos et al. (1998) y NRC (2001), mencionan que las variaciones en la producción de leche no son explicadas únicamente debido a las variaciones en los niveles de proteína de sobrepaso o proteína no degradable en rumen. Metcalf et al. (1996) y Wright et al. (1998) al estar trabajando sobre proteína no degradable en rumen, concluyeron que los cambios en producción de leche estaban relacionados más bien con la proteína metabolizable más que con la proteína de sobrepaso del rumen.

Una vaca lechera sintetiza entre 3 y 5 kg de proteína al día (Bequette et al., 1996b; Lapierre et al., 2002; Raggio et al., 2006b), lo cual representa una cantidad considerablemente en exceso al compararla con la proteína ingerida diariamente o de la proteína absorbida desde el tracto gastrointestinal (Lapierre et al., 2002). En la práctica, los requerimientos de suplementación de proteína metabolizable o más importante, los aminoácidos constituyentes son determinados por la fracción de proteína sintetizada para propósitos anabólicos (p. ej. proteína de la leche, proteína excretada en heces y la descamación más tejidos retenidos) más los aminoácidos que son catabolizados. En este sentido, en la base de datos utilizada en la revisión realizada por Lapierre (2012), en las vacas control la secreción de

proteína verdadera representa un cuarto de la proteína metabolizable suplementada, indicando que la glándula mamaria es la mayor utilizadora neta de aminoácidos suplementados.

JUSTIFICACIÓN.

En la alimentación de bovinos productores de leche una de las partes más importantes para cubrir dentro de sus necesidades tanto de mantenimiento como de producción son los requerimientos de proteína. De este modo las fuentes proteicas son importantes para cubrir estos requerimientos (mantenimiento y producción). Los altos costos debidos a factores tales como el incremento de la demanda de granos por parte de la población humana para el consumo propio, 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. Así mismo, los costos de alimentación en la producción lechera representan el renglón más alto dentro de la inversión total, por lo que la disminución de costos contribuye a enfrentar la competitividad que representa la apertura comercial y la globalización, así como reducir, de manera indirecta, las necesidades de consumo per cápita.

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 esto subproductos.

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.

En teoría, cualquier producto que tenga 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 desdoblar los carbohidratos estructurales.

Esta práctica se ha venido dando desde hace cientos, incluso miles de años. Y 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, han recibido especial atención por parte de ganaderos y nutriólogos.

Este tipo de suplementación tiene 2 grandes ventajas: 1) disminución de la dependencia del ganado a granos que pueden ser destinados al uso humano y 2) 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, no modifican negativamente la producción láctea de las vacas ni la composición de la misma, inclusive, se puede hablar de que algunos de ellos pueden llegar a mejorar estos aspectos (producción y composición) de la leche (Sterm y Ziemer, 1993).

La siembra y cosecha de cualquier cultivo genera desechos, cuyo manejo puede llegar a significar un problema para el agricultor. En este sentido, estos desechos aún tienen un valor agregado como alimento para ganado. A mediados de los 80's en Canadá sucedió este fenómeno con la canola (Harker et al., 2012), generando grandes cantidades de harina de canola, ante este problema la solución que dieron fue incluirlo en las raciones de rumiantes (Christensen y McKinnon, 1989), situación que se repitió 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 este crucífero, la harina de canola (su principal subproducto) es la principal fuente de proteína de dietas de vacas lecheras, debido entre otros factores a su alta disponibilidad y su gran calidad de proteína (Hickling., 2008; Mulrooney et al., 2009).

En algunos estudios tal como el que realizó Hill (1991), se observó que la harina de canola se puede substituir de igual manera que la soya en dietas de vacas lecheras y que los resultados obtenidos en producción y composición de la leche no variaron estadísticamente. Esto fue estudiado más recientemente por Huhtanen et al. (2011), quienes observaron que la producción de leche y la composición, específicamente la proteína, fueron mejores en las vacas alimentadas con pasta de canola en comparación con las alimentadas con pasta de soya. Acorde con Broderick et al. (2010), estos resultados pueden ser debidos a un incremento en la eficiencia en la síntesis microbial, así como a un aumento en la fracción de proteína no degradable en rumen PNDR.

OBJETIVOS.

Objetivo general.

Evaluar el efecto de diferentes fuentes de proteína vegetal sobre producción y composición de leche en vacas Holstein.

Objetivos específicos.

- Evaluar el efecto de la pasta de canola y pasta de soya en sustitución de heno de alfalfa como fuentes proteicas sobre producción de leche.
- Evaluar el efecto de la pasta de canola y pasta de soya en sustitución de heno de alfalfa como fuentes proteicas sobre composición de leche.
- Evaluar el efecto de la pasta de canola y pasta de soya en sustitución de heno de alfalfa como fuentes proteicas sobre niveles de NUL y NUS.

HIPÓTESIS.

La sustitución parcial de heno de alfalfa por pasta de canola o pasta de soya como fuente proteica en dietas de vacas Holstein no afecta negativamente la producción, calidad de la leche ni los niveles de NUL y NUS.

REVISIÓN DE LITERATURA.

Antecedentes.

Un subproducto es aquel que se obtiene durante la cosecha o el procesamiento de materias primas y tiene valor como alimento de ganado. Bath et al. (1993) identificaron 355 subproductos, que son una parte importante de la oferta de alimentación de ganado en EE.UU.

Teóricamente, cualquier producto con valor nutritivo puede ser alimento para el ganado. Un gran número de subproductos pueden ser substituidos en dietas de rumiantes por la gran capacidad del rumen de procesar alimentos altos en fibra. La producción láctea de las vacas lecheras no se ha visto comprometida al usar subproductos, y ciertos subproductos, de hecho, pueden aumentar la producción de leche y la producción de grasa más que los cereales de granos (Stern y Ziemer, 1993).

Metabolismo mamario de aminoácidos.

Una vaca lechera sintetiza entre 3 y 5 kg de proteína al día (Bequette et al., 1996b; Lapierre et al., 2002; Raggio et al., 2006b), lo cual representa una cantidad considerablemente en exceso al compararla con la proteína ingerida diariamente o de la proteína absorbida desde el tracto gastrointestinal (Lapierre et al., 2002). En la práctica, los requerimientos de suplementación de proteína metabolizable o, más importante, los aminoácidos constituyentes son determinados por la fracción de proteína sintetizada para propósitos anabólicos (p. ej. proteína de la leche, proteína excretada en heces y la descamación más tejidos retenidos) más los aminoácidos que son catabolizados. En este sentido, en la base de datos utilizada en la revisión realizada por Lapierre (20012), en las vacas control, la secreción de proteína verdadera representó un cuarto de la proteína metabolizable

suplementada, indicando que la glándula mamaria es la mayor utilizadora neta de aminoácidos suplementados. La ruta desde los aminoácidos que pasan hacia la circulación portal desde la digestión intestinal de proteína hasta la secreción de proteína de la leche no es, sin embargo, un proceso directo e involucra interacciones complejas entre varios órganos mayores, aunque la glándula mamaria juega un rol obvio central en la parte metabólica.

Producción de aminoácidos de la leche.

Hay 2 formas de medir la composición de aminoácidos de la leche; una es mediante la proporción U:O [Por sus iniciales en inglés, uptake:output (consumo:producción)] de la leche, o la calculada por Swaisgood (1995), el cual fue obtenido mediante la media de la composición de la leche de las principales proteínas y la composición de aminoácidos de esas proteínas calculado de la secuencia de aminoácidos y las secuencias de bases de DNA. De este modo 1 kg de proteína hidrolizada de la leche, produce 1.13kg de aminoácidos, debido a la adición de H₂O por cada esqueleto de péptido hidrolizado y la presencia de fosfoserina. Estos cálculos no son tomados desde la proteína secretada en leche, sino que son tomados desde las albúminas e inmunoglobulinas transferidas desde la sangre (Waghorn y Baldwin, 1984; Creamer et al., 2003). La composición de aminoácidos de la leche se basó más en la proteína verdadera que en la proteína cruda, ya que la fracción de NNP varía según los tratamientos.

Efecto del nivel de proteína metabolizable en la producción de leche y la utilización de Nitrógeno en vacas lactantes.

Idealmente la proteína cruda de la dieta debe de suplir niveles adecuados de proteína degradable en rumen (RDP, por sus siglas en inglés, Rumen Degradable Protein) para la producción de leche y proteína en términos del contenido de sus aminoácidos (NRC, 2001), aunado a cantidades adecuadas de proteína no degradable en el rumen (RUP, por sus siglas en inglés Rumen Undegradable Protein) que complemente a la proteína microbial sintetizada a

partir de la RDP con la máxima productividad pero el menor desecho de N. El modelo de NRC (2001) predice que la concentración dietaria de proteína cruda necesaria para la producción de leche decrece cuando la RUP es suplementada (aumenta) en la dieta. Si ésta suposición es verdadera, la eficiencia de conversión de nitrógeno dietario a proteína de la leche puede ser mejorada y se puede obtener un beneficio económico debido a la reducción de costos de alimentación y el incremento de la producción.

Se espera una buena relación entre cambios en el suplemento de PM (proteína metabolizable) y cambios en la secreción de proteína de la leche, dado que la PM dada, es un factor clave que determina la secreción de proteína de la leche en vacas lecheras en lactación (NRC, 2001; Broderick et al., 2010).

Las vacas altas productoras son alimentadas con altas cantidades de proteína de gran valor, ya que la degradación de la proteína bacteriana no está acoplada a la síntesis microbiana de proteína (MPS), usualmente la producción de amoníaco (NH_3) es excesiva y finalmente excretada como nitrógeno por la orina. Incrementando el nivel de almidón rápidamente degradable en rumen, ya sea aumentando el contenido dietético de maíz con alta humedad (Vagnoni y Broderick, 1997) o moliendo finalmente el maíz de alta humedad (Ekinci y Broderick, 1997) se reducen las concentraciones ruminales de amoníaco e incrementa la proteína de la leche (Ekinci y Broderick, 1997; Vagnoni y Broderick, 1997) probablemente a partir de la síntesis microbiana de proteína (Vagnoni y Broderick, 1997). La forma del nitrógeno ruminalmente degradable también tiene un efecto en el crecimiento microbial y la producción de proteína.

Si la hidrólisis de aminoácidos y la tasa de producción de amoníaco son mayores que la utilización de proteína microbiana, los niveles de amoníaco ruminal y de urea en el plasma incrementarán considerablemente, resultando en un desperdicio del nitrógeno y posibles niveles tóxicos de urea para el animal (Becht 1987).

La suplementación de PNDR ha mostrado efectos inconsistentes en la producción de leche cuando se le compara con la pasta de soja (Santos et al., 1998). Sin embargo, algunas fuentes de PNDR como expeler de pasta de soja (ESBM, por sus siglas en inglés, Expeller SoyBean Meal) mejoraron la producción de leche cuando se administraron en dietas que contenían silo de alfalfa (Broderick et al., 1990) o silo de alfalfa más silo de maíz (Reynal y Broderick, 2003). Estudios recientes (Broderick, 2003; Olmos Colmenero y Broderick, 2006a) mostraron que dietas basadas en silo de alfalfa y silo de maíz y suplementado con pasta de soja (extraída con solventes) arrojaron un máximo de producción de proteína y leche con 16.5% PC. Acorde con los mismos autores cualquier incremento en el contenido de PC de esta dieta incrementará los residuos de N en la orina y disminuirá la eficiencia de conversión del N.

Por sí sola, la variación en los niveles de la proteína de sobrepaso o proteína no degradable en rumen no explican las variaciones en la producción de leche (Santos et al., 1998; NRC 2001). Cuando este dato reciente se reevaluó usando este enfoque, fue claro que los cambios en la producción de leche estaban relacionados más bien con la proteína metabolizable PM que con la proteína no digestible en rumen RUP o proteína cruda PC (Metcalf et al. 1996; Wright et al. 1998).

Tanto la proteína microbiana ruminal, la RUP y la proteína endógena, contribuyen a el flujo de aminoácidos en el intestino delgado (proteína metabolizable), donde la proteína microbiana ruminal aporta la mayor parte del flujo total de aminoácidos (Clark et al., 1992; Santos y Huber, 1995). Por lo tanto, la suplementación de PM es una forma directa de incrementar los aminoácidos que entran al duodeno. Sin embargo, una sobrealimentación de proteína puede resultar en una excesiva excreción de nitrógeno urinario, la forma medioambiental más lábil de nitrógeno excretado (Varel et al., 1999).

Diferentes suplementos proteicos como la pasta de canola (CM) o granos secos de destilería (DDG) son ahora ampliamente usados en Norte América en raciones de ganado lechero en una alternativa económica a la harina de soja

(SBM). Con la continua expansión de la industria del etanol en Norte América, los DDG han llegado a ser un ingrediente común en ganado, usados para suplir ambos, proteína y energía (Schingoethe et al., 2009; Zhang et al., 2010). Por otra parte, cambios para mejorar el proceso de la fermentación del etanol de maíz tiene resultados en nuevos productos, como DDG de alta proteína.

Por ejemplo, en algunos estudios realizados para evaluar tipos de suplemento proteico, en vacas control, la secreción de proteína verdadera de la leche representa la mitad de proteína metabolizable suplementada, indicando que la glándula mamaria es la mayor utilizadora de aminoácidos suplementados (Lapierre et al. 2012).

Como medida para evitar esta contaminación al medio ambiente por parte del nitrógeno, se ha recurrido y recomendado disminuir los niveles de PC de la dieta, sin embargo disminuyendo la concentración de PC de la dieta, puede resultar en una suplementación deficiente de los requerimientos de PC (NRC, 2001) y comprometer la productividad de la vaca debido a un decremento en la producción de leche y de proteína de la leche (Cabrita et al., 2011; Lee et al., 2011b).

En un trabajo realizado por Wang et al. (2007), en el cual se evaluó el efecto del nivel de suplementación de proteína metabolizable se utilizaron 4 dietas en las que se incluía pasta de soya, semilla de algodón, harinolina y pasta de canola como suplementos proteicos, con los siguientes porcentajes de inclusión de PM Dieta A; 8.3%, Dieta B; 8.9%, Dieta C; 9.7% y Dieta D; 10.4%. En cuanto a la formulación de la dieta A, se basó en lo establecido por la Estación Animal China de Producción y Salud Animal, mientras que el porcentaje de PM de la dieta D, fue basado en el NRC (2001). De las 4 dietas, de la que se obtuvo mejores resultados fue de la dieta C, ya que en respuesta a la inclusión de niveles mayores de PM se observaron efectos negativos.

Los resultados de este estudio realizado por Wang et al. (2007) coincidieron con los resultados obtenidos previamente por Raggio et al. (2004) donde indicaron

que la producción media diaria de leche aumentó de 33.9 a 36.2 kg/d conforme la PM incrementó de 8.1% a 10.2% de la MS, a la vez que un incremento del 30% de la PM incrementó tanto la producción de leche como su contenido de proteína (Metcalf et al., 1996;Wright et al., 1998).

En contraste a lo anteriormente señalado, reportes previos mostraron que la producción de leche no aumentó cuando la proteína de la dieta incrementó de 17.2% a 19% (Sannes et al., 2002), de 16.8 a 19.4% (Davidson et al., 2003) de 16.7 a 18.4% (Broderick, 2003) ni de 15 a 18.7% (Groff y Wu, 2005). En el estudio realizado por Wang et al. (2007), la producción diaria media por vaca incrementó 2.6 kg/d, comparando el nivel más alto de PM (10.2 %) añadido en la dieta, con el nivel más bajo (8.1%), equivalente a aumentar 1.2 kg/d cada 1% en el aumento de la proteína metabolizable (PM).

En respuesta a un incremento de la PM de 8.2 a 10.3%, la eficiencia de conversión (proteína de la leche:CP ingerida) decreció (Wang et al., 2007), lo cual coincide con lo observado por otros investigadores (Dinn et al., 1998). Diversos autores (Wang et al. 2007;Wright et al., 1998;Castillo et al., 2001;Raggio et al., 2004) han obtenido similares resultados, mencionando que el nitrógeno excretado o transferido en la leche aumenta en respuesta a un incremento en la suplementación de proteína metabolizable en la dieta; por lo tanto, la eficiencia de conversión de nitrógeno ingerido a leche disminuye cuando la cantidad de PM aumenta. Esto implica que un incremento en el nivel de PM de la dieta puede resultar en un incremento de la salida (excreción) de nitrógeno al medio ambiente (Wang et al., 2007), debido a que la excreción urinaria de urea es proporcional a la concentración de urea en sangre (Ciszuk y Gebregziabher, 1994).

En un estudio realizado por Sannes et al. (2002), concluyeron que las concentraciones de urea en sangre aumentan incrementando el nivel de la PC y a su vez, estuvo incrementada en dietas en donde se suministró pasta de soya en comparación con dietas en las que se incluyó urea.

La concentración de nitrógeno ureico en leche y plasma están estrechamente relacionados (Wang et al., 2007; Baker et al., 1995; Campanile et al. 1998 y Broderick y Clayton, 1997). Con un incremento de los niveles de PM de la dieta aumentan también la cantidad de nitrógeno ureico en suero, orina y leche; es decir, al aumentar la PM en la dieta, la eficiencia de conversión a leche disminuye por un aumento en la excreción de nitrógeno en orina leche y suero. Por lo tanto, el contenido de PM en la dieta no debe basarse únicamente en la producción de leche, sino también deben tomarse en cuenta la excreción de nitrógeno y el daño al medio ambiente que este causa (Wang et al., 2007).

Suplementación de aminoácidos protegidos del rumen.

La suplementación individual de AA puede afectar los parámetros productivos. Se ha estimado y reportado que la metionina es el primer AA limitante en dietas típicas norteamericanas (NRC, 2001), y por lo tanto la suplementación con metionina protegida del rumen (MetPR) ha sido propuesta para mejorar la producción de leche en ganado lechero. Sin embargo, los resultados en experimentos en los que se evalúa el rendimiento que tiene la suplementación de la MetPR han sido inconsistentes (Patton, 2010; Robinson, 2010). Respuestas positivas en producción (producción de leche, concentración de grasa de la leche y proteína de la leche) a la suplementación de MetPR han sido reportados (Samuelson et al., 2001; Leonardi et al., 2003; Berthiaume et al., 2006), mientras respuestas negativas también han sido observadas (Socha et al., 2005; Davidson et al., 2008; Benefield et al., 2009). Estas discrepancias entre los estudios no están completamente entendidas, pero pueden ser debidas a factores tales como el nivel de proteína dietaria suplementada. Por ejemplo, suplementando en exceso los requerimientos, se incrementa las tasas de oxidación de algunos AA esenciales en el epitelio del intestino, hígado y tejidos periféricos, resultando en una baja eficiencia en la conversión de producción de proteína de la leche (Lapierre et al., 2006). Por lo tanto, suplementando MetPR puede ser más efectivo en vacas alimentadas con niveles bajos de proteína en la dieta. Sin embargo, muchas

investigaciones en MetPR suplementada se han llevado a cabo con dietas con contenido adecuado de proteína, pero usualmente consideradas deficientes de metionina (Patton, 2010).

Suplementos proteicos de origen vegetal usados en raciones de bovinos productores de leche.

Canola.

Las semillas y plantas de crucíferos contienen glucosinolatos, los cuales pueden desencadenar potencialmente; bocio, hepatotoxicidad o alergia (Fenwick, 1982). Los componentes generadores de bocio reducen la capacidad de iodina al animal y por consiguiente disminuyen la síntesis de tiroxina, la cual está involucrada en el mecanismo hormonal de la producción de leche (Grenet y Journet, 1971). Por lo tanto, este tipo de semilla colza (perteneciente a la familia de los crucíferos) no puede ser considerado como un ingrediente sustituible en el alimento de ganado (Abbadi y Leckband, 2011).

El término canola fue acuñado a una variedad específica identificada de colza que contiene menos del 2% de ácido erúico en la porción de aceite y menos de 30 μmol de glucosinolatos/g en la porción de harina (Bell, 1984; Newkirk, 2009). Con el incremento de la siembra y cosecha de canola por parte de los canadienses a mediados de los 80s (Harker et al., 2012), el uso de coproductos de canola, en este caso la harina de canola, también incrementó tremendamente como un alimento para rumiantes en Canadá (Christensen y McKinnon, 1989) tanto como en otros países (Emanuelson, 1989; Tuori, 1992; Huhtanen 1998; Moss, 2002; Tan et al. 2011). En el oeste de Canadá y partes de Estados Unidos, la harina de canola (CM por sus siglas en inglés Canola Meal) es la principal fuente de proteína de dietas de vacas lecheras porque es fácilmente disponible y provee una alta calidad de proteína (Hickling, 2008; Mulrooney et al., 2009).

La pasta de canola tiene un valor y uso muy elevados en la alimentación de ganado de leche debido a su habilidad para mejorar la producción de leche. El suplemento de pasta de canola está incrementando cada vez más en Norte América (por el incremento en la obtención de aceite de canola), por lo que su uso en las dietas de otras especies incrementará (Hickling, 2008).

Efecto del uso de la pasta de canola en comparación con otros suplementos proteicos de origen vegetal.

Hill (1991), concluyó que la harina de semilla de colza baja en glucosinolatos (canola), puede ser usada igual que la harina de soja y que los resultados en producción y calidad son equitativamente satisfactorios para cualquier de los dos suplementos proteicos. En estudios más recientes, Huhtanen et al. (2011), evidenciaron que la producción de leche y la secreción proteica de la leche de vacas alimentadas con CM fue igual o mejor que la producida al ser alimentadas con harina de soja en dietas basadas en silo de pasto. Los resultados positivos en la producción de proteína de la leche, según Broderick et al. (2010), pueden estar relacionados con un mejoramiento en la eficiencia de la síntesis microbial y la reducida degradabilidad ruminal de proteína cruda basado en los resultados de un meta-análisis en estudios omasales.

Estos resultados coinciden con lo que mencionan autores previamente, en los que indican que la CM fue comparable con la pasta de soja y harinolina como fuente de proteína para vacas en lactación (Sanchez y Claypool, 1983; DePeters y Bath, 1986; Rito y Broderick, 2007).

Pasta de canola contra DDG's.

En los últimos años en Norte América se ha venido incrementando el uso de granos para la producción de biocombustibles, por lo tanto hay un incremento en la producción de subproductos de esta industria, los cuales tienen un menor

costo que la pasta de canola y contienen mayor porcentaje de proteína no degradable en el rumen (sobrepaso), aunque hay que considerar que la pasta de canola contiene la concentración adecuada de proteína y perfil de aminoácidos para la nutrición de ganado productor de leche. En este sentido, y como una alternativa económica a la pasta de canola y soya, hay un reto para maximizar la producción de leche utilizando estos subproductos (Maxin y Lapierre, 2012).

En estudios en los cuales se compararon pasta de canola (CM) contra DDGS, se observó que en las dietas de CM donde se incluyó arriba de 66 y 120 g/kg materia seca respectivamente, se presentó una tendencia a incrementar los valores absolutos de producción de leche y de proteína de leche (Mulrooney et al., 2009)

Christen et al. (2010), sugirieron que los HPDDG (DDG's altos en proteína) mejoraron a la CM en una dieta de 120g/kg MS, observando al mismo tiempo indicios de que las vacas alimentadas con HPDDG pueden mejorar el balance de AA en plasma contra CM, con el consiguiente mejor perfil de AA para la producción de proteína de la leche. Sin embargo, adicionando HPDDG a raciones las cuales ya son altas en proteína de maíz pueden resultar en que la lisina sea limitante para la producción de leche. Además la CM y los HPDDG tienen perfiles de degradabilidad muy diferentes, siendo la CM principalmente una fuente de proteína degradable en rumen (PDR), mientras HPDDG es una fuente alta de proteína no degradable en rumen (PNDR) (Mulrooney et al., 2009). Esto supone que una inclusión a niveles altos de cualquiera de estos suplementos puede llevar a un desbalance en la proporción dietaria de PDR:PNDR, de este modo la función ruminal puede verse afectada y/o crear un desbalance en la disponibilidad de AA requeridos para mantener una adecuada producción de leche.

Pasta de canola contra pasta de soya.

Aunque la pasta de canola, en comparación con la pasta de soja, contiene menos porcentaje de proteína (37% pasta de canola vs. 47% pasta de soja) tiene

mejores resultados para aumentar la producción de leche (Tabla 1; Hickling, 2008).

Tabla 1.

Producción de leche en vacas lecheras alimentadas con pasta de canola vs. pasta de soja o pasta de algodón.

Referencia	Control	Pasta de Canola
Ingalls y Sharma (1975)	23	23.7
Fisher y Walsh (1976)	24.4	23
Laarveld y Christensen (1976)	24.9	26.4
Sharma et al. (1977)	20.7	20.9
Sharma et al. (1977)	21.5	21.8
Papas et al. (1978)	24.3	25.2
Papas et al. (1978)	23.9	24.6
Papas et al. (1979)	21.8	22.2
Laarveld et al. (1981)	26.4	27.7
Sanchez y Claypool (1983)	33.4	37.7
DePeters y Bath (1986)	39.8	41.4
Vincent y Hill (1988)	28.5	28.6
Vincent et al. (1990)	25.1	26.7
McLean y Laarveld (1991)	28.9	30.7
McLeod (1991)	17.2	16.9
Emmanuelson et al. (1993)	21	21.9
Dewhurst et al. (1999)	24	24.5
Dewhurst et al. (1999)	23.7	25.5
Whales et al. (2000)	21.8	22.3
Wite et al. (2004)*	21.7	22.7
Maesoomi et al. (2006)	27	28
Johansson y Nadeau (2006)**	35.4	38.4
Wang (2006)	27.9	29.4
Brito y Broderick (2007)	40	41.1
Mulrooney et al. (2008)***	34.3	35.2
Promedio de producción de leche	26.4 _a	27.5 _b

- *Pasta de canola protegida del rumen
- **Tarta de canola vs. concentrado comercial
- ***Pasta de canola vs. DDGS.

(Hickling, 2008).

Acorde con Hickling, (2008), la capacidad de la canola para mejorar la producción de leche es debida presumiblemente a la calidad de su proteína, la cual cumple con los requerimientos específicos de aminoácidos esenciales para la producción de leche. Sin embargo, Huhtanen et al. (2011) reportaron que la pasta de canola administrada en la dieta incrementó el CMS (consume de material seca) más que la pasta de soya en dietas a base de silo de pasto, no observándose diferencia significativa en cuanto a digestibilidad de la materia orgánica. Huhtanen et al. (2011) postularon que el CMS pudo incrementar en respuesta a una mayor demanda de energía debido a la mejora en la producción lactacional inducido probablemente por un mayor suplemento de AA o un perfil de AA más balanceado cuando la pasta de canola fue sustituida por pasta de soya.

En un meta-análisis realizado por Martineau et al. (2013), llegaron a la conclusión de que al administrar 17.2% de harina de canola (proporción más alta del meta-análisis), la ingesta diaria de materia aumenta en 0.41kg/vaca. En este mismo estudio, en el mismo tratamiento (17.2 % CM) la producción de leche aumentó a 1.07 kg/vaca, la 4% FCM (por sus siglas en inglés Fat Corrected Milk) tuvo un incremento de 0.85kg/vaca, la ECM (por sus siglas en inglés Energy Corrected Milk) tuvo un incremento de 0.84 kg/vaca y la eficiencia láctea [Δ ECM/DMI (Dry Matter Intake)] también incrementó en 0.035kg/vaca. Continuando con el análisis de este estudio, en cuanto a la composición de la leche, con las concentraciones antes mencionadas de pasta de canola, la proteína en leche incrementó 0.034%, sin embargo, el porcentaje de grasa en la leche no respondió de la misma manera pero tiende a ser asociado negativamente a cambios en el extracto etéreo del alimento.

Rendimiento de los componentes de la leche y eficiencia aparente de nitrógeno.

En el trabajo de Martineau et al. (2013), los rendimientos tanto de proteína como de grasa en la leche resultaron positivos. Manejando el 17.2% de CM en la dieta, se presentó un incremento de 45 y 28 gr/vaca de proteína y grasa respectivamente. Al mismo tiempo, la respuesta a la eficiencia de nitrógeno fue positiva en el mismo estudio de Martineau et al. (2013), (Δ N leche/ N ingerido) principalmente debido al efecto positivo en la secreción de proteína de la leche. La aparente eficiencia de nitrógeno aumentó 12g N leche/Kg N ingerido para una vaca alimentada con una dieta que contiene 17.2% de CM. Es evidente el beneficio en cuanto a aminoácidos por parte de la pasta de canola, ya que solo 1/3 parte de la proteína de esta pasta sobrepasa el rumen en dietas para vacas altas productoras.

Reemplazo de pasta de soya por suplementos ricos en proteína de sobrepaso.

Reemplazando pasta de soya (extraída con solventes) con suplementos ricos en proteína de sobrepaso, disminuyó la síntesis de proteína microbial en 22 de 29 comparaciones de 15 experimentos de metabolismo (Santos et al., 1998). Estos autores concluyeron que incrementando la proteína no degradable en rumen (RUP) en dietas de vacas lecheras conduce a un inadecuado suplemento de proteína degradable en rumen (RDP), un cambio en el perfil de aminoácidos absorbidos y un inconsistente mejoramiento en la producción de leche. Por su parte Wright et al. (2005), demostraron que la excreción de nitrógeno urinario (% del N ingerido) se redujo en animales alimentados con pasta de canola tratada a vapor y lignosulfonato comparado con vacas alimentadas sin pasta de canola, o canola tratada a vapor únicamente, sin embargo, la producción de leche fue similar en los tratamientos donde se utilizó la pasta de canola. Esto indica que incrementando la proteína de sobrepaso mediante la suplementación de pasta de canola tratada mejoró la producción y utilización de Nitrógeno.

La producción de leche fue similar en dietas que contenían pasta de canola, pasta de algodón, pasta de soya (extraída con solventes) (Sanchez y Claypool, 1983). Esto sugiere que, en áreas donde hay disponibilidad de pasta de canola puede ser una alternativa económica para su uso como suplemento proteico (Blackwelder et al., 1998).

En un estudio (Olmos Colmenero y Broderick, 2006c, tabla 2) compararon 4 dietas que difirieron en el contenido de PC y los suplementos proteicos (en base a materia seca):

Tabla2.

Composición de las dietas

Item	Dietas			
	A	B	C	D
	% de MS			
Silo de alfalfa	20	20	20	20
silo de maíz	35	35	35	35
Maíz rolado	32.9	31.5	30.6	29.4
Pasta de soya	3.68	9.58	4.56	11.66
Expeler de pasta de soya	4.5	0	5.9	0
Soya tostada	2.5	2.5	2.5	2.5
Bicarbonato de sodio	0.6	0.6	0.6	0.6
Piedra de lima	0.5	0.5	0.5	0.5
Sal	0.2	0.2	0.2	0.2
Premezcla mineral	0.1	0.1	0.1	0.1
Composición química				
MS, %	47.4	47.5	47.5	47.6
PC, % MS	15.6	16.6	16.6	17.6
Ceniza, % MS	7.13	7.25	7.24	7.37
FND, % MS	27.3	26.9	27.4	26.9
FAD, % MS	15.4	15.3	15.4	15.3
NIDN, % MS	0.22	0.2	0.23	0.2
PDR, % MS	10.5	11.7	11.1	12.5

PNDR, % MS	5.1	4.8	5.4	5.1
CNF, % MS	51.1	49.6	50.2	48.6
NTD, %	65.2	64.8	65.1	64.5
ENL, Mcal/ kg	1.58	1.58	1.58	1.57

Olmos Colmenero y Broderick, 2006c

- A) 15.6% PC, 3.7% pasta de soya más 4.5% de expeler de pasta de soya
- B) 16.6% PC, 9.6% pasta de soya más 0% de expeler de soya
- C) 16.6% PC, 4.6% pasta de soya más 5.9% de expeler de pasta de soya
- D) 17.6% PC, 11.7% pasta de soya más 0% de expeler de soya.

Como resultado en este estudio la producción de leche no fue afectada significativamente ($P > 0.05$) por las dietas. Sin embargo, el rendimiento de la leche tendió ($P=0.08$) a ser más bajo para la dieta A comparado con la dieta B, sugiriendo esto que alimentando con un mejor suplemento proteico de PNDR como es el expeler de pasta de soya no compensa dietas reducidas en PC de 16.6% a 15.6% (Olmos Colmenero y Broderick, 2006c).

Tabla3.

Efecto de la fuente de proteína dietaria (expeler de soya) y concentración de PC en la producción y composición de la dieta

Item	Dietas				Contraste (Valor de P)		
	A	B	C	D	A vs. B	B vs. C	B vs. D
Consumo MS, kg/d	25.2	25.6	25.5	26.4	0.39	0.81	0.09
Rendimiento de Leche, kg/d	38.8	40	40.3	40.1	0.08	0.68	0.91
3.5% LCG, kg/d	41.1	42.2	42.9	42.7	0.21	0.44	0.59
Leche/CMS*	1.53	1.56	1.58	1.51	0.23	0.61	0.06
GMD, kg/d	0.68	0.53	0.53	0.73	0.23	1	0.1

Composición y rendimiento de la leche:

Grasa, %	4.03	3.98	4	4	0.59	0.79	0.8
Rendimiento de la grasa, kg/d	1.5	1.54	1.57	1.56	0.37	0.43	0.54
Proteína, %	3.23	3.24	3.2	3.28	0.56	0.14	0.26
Rendimiento de la proteína, kg/d	1.21	1.26	1.24	1.27	0.11	0.54	0.76
Lactosa, %	4.87	4.83	4.89	4.85	0.03	<0.01	0.34
Rendimiento de la lactosa, kg/d	1.87	1.9	1.92	1.92	0.44	0.71	0.74
SNG, %	8.99	8.97	8.98	9.01	0.45	0.67	0.12
Rendimiento de SNG, kg/d	3.42	3.52	3.51	3.54	0.26	0.97	0.75

* Eficiencia alimenticia; leche producida/consumo de materia seca

Olmos Colmenero y Broderick, 2006c

Olmos Colmenero y Broderick, (2006c), observaron (Tabla 3) una tendencia desde la dieta D a la B de mayor consumo de materia seca ($P=0.09$), mejor ganancia de peso ($P=0.1$) y menor conversión alimenticia (litros de leche producidos / kg de materia seca ingerida) ($P=0.06$), indicando con esto que el incremento de la PC de la dieta aumenta el consumo de materia seca sin mejorar la producción, lo cual indica una menor eficiencia alimenticia. Resultados similares fueron obtenidos por Sannes et al. (2002), quienes observaron un incremento significativo del consumo de materia seca al aumentar el porcentaje de PC de la dieta del 12.7% al 19.1%, pero el rendimiento de la leche no se incrementó.

En este sentido Broderick (2003), reportó que el CMS de las vacas productoras de leche incrementa linealmente cuando la PC de la dieta incrementa de 15.1 a 18.4% de la MS; sin embargo, como sucedió en este estudio, el rendimiento de la leche no mejoro con más del 16.6% de PC resultando en una menor eficiencia de consumo de alimento.

La suplementación con expeler de pasta de soya no mejoró el rendimiento de leche/ consumo de materia seca (Olmos Colmenero y Broderick, 2006c, tabla 3), ni aun cuando las dietas eran ligeramente más altas en el porcentaje de PC (A y B) ni cuando fueron iguales (B o C). Por lo tanto el expeler de pasta de soya y la pasta de soya extraída con disolventes aparentemente tiene una disponibilidad similar de energía dietaria. La respuesta a la producción de leche suplementando PNDR de expeler de soya ha sido inconsistente. Reynal y Broderick (2003), reportaron que las vacas alimentadas con dietas que contenían 44% de silo de maíz y 22% de silo de alfalfa producían 1.4 kg/d más de leche con expeler de soya que con pasta de soya extraída con solvente.

La ausencia de un efecto en el contenido de PC y producción no fue sorprendente. En este sentido, Leonardi et al. (2003) y Olmos Colmenero y Broderick (2006 a) no encontraron efecto ($P > 0.05$) del incremento en el contenido de PC sobre el rendimiento de la leche. En un estudio de toda la lactación Wu y Satter (2000), encontraron que alimentando con un 17.4% de PC para las primeras 16 semanas después del parto, seguido de un 16% de PC para las últimas 28 semanas, maximizaron el rendimiento estandarizado a la grasa corregida de la leche (FCM). Al mismo tiempo, incrementando la PC dietaria a 19.3% durante las primeras 16 semanas, o a 17.9% PC durante las últimas 28 semanas, no mejoró el rendimiento estandarizado a la grasa corregida de la leche.

Grasa

En un estudio realizado por Maxin et al. (2013), en el que se adicionaron diferentes suplementos proteicos, con valores ligeramente similares de PC (17.4%, dieta a base de DDG alto en proteína; 17.1%, dieta a base de pasta de soya) la concentración de almidones de la dieta de pasta de soya y de DDG alto en proteína (20.6 y 19% respectivamente) fueron más altos que la dieta con pasta de canola y DDG de trigo (17.5 y 16.5%, respectivamente), sin embargo, estas 2 últimas dietas (con valores más pequeños de almidones) tuvieron mayor concentración de grasa en la leche (3.9% y 4% pasta de canola y DDG de trigo vs.

2.6 y 3.0% de pasta de soya y DDG altos en proteína), ya que estas dietas se les adiciono sales de Ca de ácidos grasos para obtener dietas isoenergéticas.

Metabolismo del nitrógeno.

En el estudio realizado por Olmos Colmenero y Broderick (2006c), el N proteico de la leche no fue afectado ni por la fuente ni por el nivel de PC de la dieta. El incremento en el consumo de nitrógeno y la secreción de nitrógeno proteico para vacas alimentadas con la dieta D (17.6% PC) comparado con vacas alimentadas con la dieta B (16.6% PC) resultó en una disminución de la eficiencia (N proteico de la leche/ N ingerido) ($P < 0.01$), de 29.3 a 26.8% (del % N proteico ingerido) respectivamente. Del mismo modo, Olmos Colmenero y Broderick (2006^a) y Broderick (2003) observaron una depresión lineal en la eficiencia del nitrógeno de, 36.5% a 25.4% y de 30.3% a 23.9%, respectivamente cuando la PC de la dieta incrementó de 13.5 a 19.4% y de 15.1 a 18,4% respectivamente. En ambos estudios el rendimiento de proteína y leche estuvieron al máximo alrededor de 16.6% de PC sin mejoras al aumentar la suplementación. Estos datos, en resumen, indican que, cuando las dietas están basadas en; silo de alfalfa y silo de maíz (fuente de forraje) maíz como fuente principal de alimdon y pasta de soya como principal suplemento proteico, cualquier incremento en la PC dietaria alrededor del 16.6% va a resultar en un desperdicio del N dietario y va a contribuir la contaminación de N.

Tanto el N ureico en sangre (NUS) como el N ureico en leche (NUL) tuvieron alta significancia ($P < 0.01$) (Olmos Colmenero y Broderick, 2006c tabla 4) en las dietas C y D contra la dieta B. Un patrón similar de la concentración de NUS y de NUL fue esperado por que la urea de sangre rápidamente se equilibra con la de la leche y estas 2 variables tienen alta correlación (Broderick y Clayton, 1997).

Tabla 4.

Efecto de la fuente de proteína dietaria (expeler de soya) y concentración de PC en el metabolismo del N.

Item	Dietas				Contraste (valor de P)		
	A	B	C	D	A vs B	B vs C	B vs D
N ingerido, g/d	629	680	676	744	<0.01	0.78	<0.01
N proteico leche, g/d	190	198	195	199	0.11	0.56	0.77
N proteico leche, % de N ingerido	30.1	29.3	28.8	26.8	0.27	0.5	<0.01
N-ureico sangre, mg/dL	12.9	13.7	15.6	16.5	0.11	<0.01	<0.01
N-ureico leche, mg/dL	8.9	9.8	10.4	12	<0.01	0.01	<0.01
Excreción Urinaria							
N tota, g/d	208	225	241	279	0.15	0.17	<0.01
N total, % del N ingerido	33.3	33.2	35.7	37.6	0.97	0.12	<0.01
N ureico, g/d	134	139	165	201	0.41	<0.01	<0.01
N ureico, % N ureico total	64.8	63.8	70.5	75.5	0.73	0.03	<0.01

MATERIALES Y MÉTODOS.

Área de estudio.

La presente investigación se realizó durante los meses 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 10 m sobre el nivel del mar y condiciones desérticas, ubicados en km. 3.5 Carretera San Felipe, Fracc. Campestre, Mexicali, Baja California, México 21386.

Material biológico.

Se utilizaron 12 vacas de la raza Holstein en su primer tercio de lactación con una media de 42 DEL y una media de producción de 33 l/d. Todas las vacas fueron multíparas. Se alojaron en corraletas individuales con comederos individuales y bebederos automáticos compartidos para dos unidades experimentales. Durante todo el experimento los animales contaron con acceso al agua *ad libitum*.

Tratamientos.

Tabla 5.
Dietas experimentales.

	Tratamiento		
	TMT1 Control	TMT2 P. soya	TMT3 P. canola
Componente:	Base húmeda tal como se da, kg/vaca/día		
Heno de alfalfa	14	6	5
Heno de avena	-	7	7.5
Pasta de soya	-	1.5	-

Pasta de canola	-	-	1.75
Maiz rolado	8.5	8.5	8.5
Carbonato de Ca	-	0.15	0.2
Fosfato monosódico	0.12	0.12	0.12
TOTAL:	22.62	23.27	23.07

Componente:	Base MS, %		
Heno de alfalfa	61.126	25.783	21.673
Heno de avena	-	30.082	32.510
Pasta de soya	-	6.446	-
Pasta de canola	-	-	7.586
Maíz rolado	37.3	36.528	36.884
Carbonato de Ca	-	0.645	0.867
Fosfato monosódico	0.574	0.516	0.520
TOTAL:	100	100	100
	Composición, % MS		
MS	89.661	89.735	89.906
ENL (Mcal/kg)	1.568	1.560	1.542
PC	15.534	15.568	14.927
Extracto etéreo	3.468	3.665	3.679
FAD	20.887	19.889	20.389
FND	29.698	31.431	33.266
Ca	0.887	0.677	0.753
P	0.374	0.333	0.368

Los tres tratamientos consistieron en la inclusión de uno de los dos suplementos proteicos –pasta de soya o pasta de canola- comparados contra la

dieta control que contenía como fuente de proteína heno de alfalfa. El porcentaje de inclusión del suplemento proteico representó el 20% de la proteína cruda del tratamiento control en sustitución parcial de la alfalfa.

Las dietas se prepararon 2 veces por semana, tanto el forraje como el concentrado se prepararán de manera separada. Se almacenó en cajones de madera, que se encontraron fuera de las corraletas. La dieta total por día se ofreció por partes iguales diariamente a 0800 y 1500 h. Se administra primero el forraje y por encima de este el concentrado, el cual incluye el suplemento proteico. Los animales consumieron las dietas *ad libitum*, asegurándose que en el comedero quede alrededor del 5% del total ofrecido. Las dietas experimentales se muestran en la tabla 5.

El experimento tuvo una duración de 15 días de adaptación a los tratamientos y 42 días de pesado de leche y toma de muestras. 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 hr. Se realizaron los análisis correspondientes para grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos y nitrógeno ureico en leche y sangre (NUL y NUS) para conocer la relación entre ambos. Los análisis se llevaron a cabo en el Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la UABC.

Diseño estadístico.

Se diseñó una base de datos en el programa EXCEL (Microsoft) para la captura y manejo de información generada en este proyecto. Se utilizó un análisis de procedimientos GLM de SAS* para un diseño completamente al azar. Además, se llevó a cabo el procedimiento MIXED para medidas repetidas con análisis de covarianzas para cada una de las variables, con un nivel de significancia exigida de $P \leq 0.05$. Cuando se observaron efectos significativos para los efectos evaluados, se realizó una comparación de medias con el método Tukey usando la sentencia MEANS. Los valores de P observados se considerarán estadísticamente diferentes cuando $P < 0.05$.

Toma de muestras.

Los viernes de cada semana (6 semanas), posteriores a las 2 semanas de adaptación se tomaron muestras de leche, sangre y además se midió la producción de leche. Las muestras de leche se recolectaron en vasos estériles, con una cantidad aproximada a los 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, de la leche; contenido de proteína, grasa, lactosa, sólidos no grasos, densidad, agua y N-ureico, y para conocer el estado de salud de la ubre se realizará la CMT. Las muestras de sangre servirán para medir el N-ureico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En su meta-análisis, Huhtanen et al. (2011) generalmente se reportaron respuestas positivas cuando la pasta de canola sustituyó a otros suplementos proteicos pero notaron que esos efectos fueron menores cuando la pasta de canola reemplazó a la pasta de soya. Aquellos investigadores atribuyeron el incremento del CMS en la pasta de canola a un “efecto pull”, por lo cual un mejor patrón de AA en la proteína metabolizable, mejoran la producción de leche y el rendimiento de sus componentes, que a su vez estimuló un mayor consumo de alimento para soportar la elevada producción.

Un punto importante a considerar, es que la sustitución de pasta de canola por cualquier otra fuente de proteína puede no solo modificar el aporte de AA, también modifica el aporte de carbohidratos, ácidos grasos, minerales y vitaminas, todos los componentes que potencialmente contribuyen a los efectos observados (Martineau et al. 2013).

Efecto de la sustitución parcial de heno de alfalfa por pasta de canola y pasta de soya sobre producción de leche LCE.

Los resultados del efecto de la sustitución parcial de heno de alfalfa por pasta de soya y pasta de canola sobre producción de leche se muestran en la tabla 6. No se observaron diferencias significativas entre las medias de producción y LCE (Leche Corregida por Energía) de los tratamientos ($P > 0.05$) aunque la producción de leche fue 2.5 kg/d mejor para las dietas con pasta de canola contra pasta de soya.

Estos resultados concuerdan con los resultados de Sánchez y Claypool (1983), que no reportaron diferencia significativa ($P > 0.05$) en producción de leche por día al comparar pasta de canola contra pasta de soya en dietas a base de silo

de maíz y heno de alfalfa. Al igual que en el meta-análisis de Martineau et al. (2013), en el que no observó diferencia significativa en la variable LCE. Brito y Broderick (2007) no encontraron diferencia significativa en producción de leche en su experimento al comparar diferentes suplementos proteicos (incluida pasta de soya contra pasta de canola) en dietas a base de silo de alfalfa y silo de maíz.

Al contrario de lo que ocurrió en un estudio de Broderick et al. (2015) reemplazando pasta de soya por pasta de canola, encontraron diferencia altamente significativa ($P < 0.05$) en producción de leche corregida por energía (0.4 kg/d) en dietas en el que el forraje que se usó fue silo de alfalfa y silo de maíz. Este mismo efecto altamente significativo fue observado para producción de leche (0.9 kg/d) en dietas en el que el forraje utilizado fue silo de alfalfa y silo de maíz. Así mismo en el meta-análisis realizado por Martineau et al. (2013), se reportó un incremento altamente significativo ($P < 0.001$) en la producción de leche (1.07 kg/vaca) al sustituir pasta de soya por pasta de canola (para una vaca alimentada con 17.2% de pasta de canola en la dieta). Laarveld y Christensen (1976), Papas et al. (1978), Dewhurst et al. (1999), Shingfield et al. (2003), Vanhatalo et al. (2003), y Rinne et al. (2006) encontraron resultados similares en el incremento de producción de leche.

Tabla 6.
Tratamientos.

Variable	TMT1. Control	TMT2. Pasta de soya	TMT3. Pasta de canola	EE	Pr > F
Producción, kg	31.07	30.73	33.20	1.90	0.62
LCE, 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, %	8.37	8.34	8.30	0.04	0.49
SNG, kg/d	2.60	2.56	2.76	0.15	0.66
NUL ¹ , mg/dL	11.55	11.84	9.53	1.04	0.28
NUS ² , mg/dL	24.74	25.90	24.15	1.53	0.72

¹ Nitrógeno ureico en leche

² Nitrógeno ureico en sangre

Efecto de la sustitución parcial de heno de alfalfa por pasta de canola y pasta de soya sobre concentración de grasa y rendimiento de grasa.

Las medias de concentración de grasa y rendimiento se encuentran en la tabla 6. En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas para concentración de grasa ni para rendimiento de grasa. Estos resultados coinciden con Martineau et al. (2013) que no se encontró diferencia significativa ni en concentración de grasa ni rendimiento en su meta-análisis cuando la pasta de canola substituyó a la pasta de soya. De la misma forma que los resultados reportados por Sánchez y Claypool (1983) y Brito y Broderick (2007) sin encontrar diferencia significativa ($P > 0.05$) en la concentración de grasa y rendimiento al comparar pasta de soya y pasta de canola en dietas a base de silo de maíz y alfalfa.

Efecto de la sustitución parcial de heno de alfalfa por pasta de canola y pasta de soya sobre concentración de proteína y rendimiento de proteína.

Las medias del efecto de los tratamientos sobre la concentración de proteína en leche y rendimiento se muestran en la tabla 6. No se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$) entre las medias de concentración de proteína ni rendimiento de proteína de los tratamientos.

Estos resultados coinciden con los reportados por Martineau et al. (2013) y Brito y Broderick (2007), que no encontraron diferencia significativa en la concentración de proteína en su meta-análisis cuando la pasta de canola substituyó a la pasta de soya.

Contrario a lo observado por Broderick et al. (2015) encontraron diferencia significativa ($P < 0.05$) en rendimiento de proteína (0.03 kg/kg) cuando compararon pasta de canola contra pasta de soya en dietas a base de silo de alfalfa y s. de maíz. También se observó diferencia altamente significativa ($P < 0.001$) en el rendimiento de la proteína (45g/vaca) cuando la pasta de canola substituyó a la pasta de soya (Martineau et al. 2013), lo cual fue correspondido con lo mencionado por diferentes autores Huhtanen et al. (1991), Emanuelson et al. (1993), Shingfield et al. (2003), Vanhatalo et al. (2003), Rinne et al. (2006), Brito y Broderick (2007), and Oba et al. (2010).

Soportando la hipótesis del perfil de AAE, la respuesta en el porcentaje de proteína fue positivo en el meta-análisis de Martineau et al. (2013), únicamente cuando la pasta de canola substituyó a otros suplementos proteicos que no fueran pasta de soya. La proteína microbial 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 pasta de canola 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 microbial (Griswold et al. 1996). Por ejemplo, los AA y péptidos preformados, pueden rápidamente ser incorporados a la masa microbial

(Bach et al. 2005). El perfil de AAE en la fracción digestible de PNDR es también importante como suplemento complementario de la proteína microbial (NRC, 2001). Aunque la pasta de canola suple menos PNDR en duodeno comparado con la mayoría de las fuentes de proteína, esta contiene relativamente mayor concentración de Met, Lys e His (a menudo citados como AAE's 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 con un mejor suplemento de AAE o 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.

Efecto de la sustitución parcial de heno de alfalfa por pasta de canola y pasta de soya sobre concentración de Sólidos No Grasos y rendimiento de Sólidos No Grasos.

El efecto de los tratamientos sobre la concentración de Sólidos No Grasos (SNG) en leche y rendimiento de estos, se muestran en la tabla 6. En el presente experimento las diferencias entre las medias de concentración de SNG y rendimiento de SNG no mostraron diferencia significativa ($P>0.05$) entre ninguna de las dietas.

Los resultados obtenidos por Brito y Broderick (2007) al igual que Sánchez y Claypool (1983) no encontraron diferencias significativas al comparar pasta de soya y pasta de canola en dietas a base de silo de maíz y silo de alfalfa ($P>0.05$) en la concentración de SNG, sin embargo, en el mismo estudio de Sánchez y Claypool (1983) encontraron diferencia significativa ($P<0.05$) en el rendimiento de SNG. Vacas alimentadas con pasta de canola produjeron 0.57 kg/d más en comparación con las vacas alimentadas con pasta de soya. Atribuyen estas diferencias al efecto acumulativo de una mayor producción y una mayor concentración de SNG (aunque estadísticamente no existió diferencia significativa

para producción de leche y concentración de SNG, numéricamente se observaron aumentados estos parámetros).

Efecto de la sustitución parcial de heno de alfalfa por pasta de canola y pasta de soya sobre concentración de Lactosa y rendimiento de Lactosa.

Las medias del efecto de los tratamientos sobre la concentración y rendimiento de lactosa y se muestran en la tabla 6. No se encontró diferencia significativa entre las medias de concentración y rendimiento de lactosa de los tratamientos. Lo cual coincide con Martineau et al. (2013) que no encontró diferencia significativa en su meta-análisis cuando la pasta de canola substituyó a la pasta de soya. De la misma manera Sharma et. al. (1977) y Broderick et al. (2015) reportaron que la pasta de canola no afecta ($P>0.05$) la composición de la leche. Sharma et. al. (1977) también destaca que las diferencias en la producción de los componentes de la leche entre las dietas tiene tendencia a aumentar como la producción de leche.

Efecto de la sustitución parcial de heno de alfalfa por pasta de canola y pasta de soya sobre Nitrógeno Ureico en Leche y Nitrógeno Ureico en Sangre.

Las medias del efecto de los tratamientos sobre nitrógeno ureico en sangre y leche se muestran en la tabla 6. No se encontró diferencia significativa entre las medias del nitrógeno ureico en sangre y leche entre los tratamientos. El Nitrógeno Ureico en Sangre no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos de fuente de proteína verdadera (Brito y Broderick (2007) lo cual coincide con los resultados encontrados por Sanchez y Claypool (1983). Inversamente a lo reportado en los resultados de Mustafa et al. (1997) que reportaron un incremento significativo en NUS cuando la pasta de soya extraída con solventes reemplazó tanto a la pasta de canola alta en fibra como la normal en la dieta; sin embargo hay que considerar que el nivel de proteína cruda de la dieta de pasta de soya extraída con solventes estuvo 1.6 unidades porcentuales por encima que el promedio de proteína cruda de ambas dietas de pasta de canola.

Contrario a Broderick et al. (2015) que encontró disminuido el NUL significativamente ($P < 0.01$) con el tratamiento de pasta de canola en dietas a base de silo de alfalfa y s. de maíz. Lo cual coincide con los experimentos en el que los tratamientos con pasta de canola se encontraron con aumento en la producción de leche y diferente significativamente al compararlos con dietas con pasta de soya (Broderick et al., 2015).

CONCLUSIONES.

Acorde con los resultados obtenidos en el presente experimento, la sustitución parcial de heno de alfalfa por cualquiera de los dos suplementos proteicos de origen vegetal utilizados no afecta adversamente las variables de producción, composición y aparente utilización de nitrógeno (NUL y NUS).

Debido a esto se debe de tener en cuenta principalmente la disponibilidad, demanda y costo de cada suplemento según cada región, para que de este modo se logre una ración más rentable que con otros suplementos proteicos vegetales de mayor costo.

BIBLIOGRAFÍA.

- Abbadi, A., and G. Leckband. 2011. Rapeseed breeding for oil content, quality, and sustainability. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 113:1198–1206.
- Bach, A., S. Calsamiglia, and M. D. Stern. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 88(E Suppl.):E9–E21.
- 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 (30): 32.
- Becht, Richard R. 1987. "Effects of Isoacids on Ruminal Metabolism and Milk Production," *Iowa State University Veterinarian*: Vol.49: Iss. 1, Article 3.
- Bell, J. M. 1984. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: A review. *J. Anim. Sci.* 58:996–1010.
- Benefield, B. C., R. A. Patton, M. J. Stevenson, and T. R. Overton. 2009. Evaluation of rumen-protected methionine sources and period length on performance of lactating dairy cows within Latin squares. *J. Dairy Sci.* 92:4448–4455.
- Bequette, B. J., J. A. Metcalf, D. Wray-Cahen, F. R. C. Backwell, J. D. Sutton, M. A. Lomax, J. C. Macrae, and G. E. Lobley. 1996b. Leucine and protein metabolism in the lactating dairy cow mammary gland: Responses to supplemental dietary crude protein intake. *J. Dairy Res.* 63:209–222.
- Berthiaume, R., M. C. Thivierge, R. A. Patton, P. Dubreuil, M. Stevenson, B. W. McBride, and H. Lapierre. 2006. Effect of ruminally protected methionine on splanchnic metabolism of amino acids in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1621–1634.
- Blackwelder, J. T., B. A. Hopkins, D. E. Diaz, L. H. Whitlow, and C. Brownie. 1998. Milk production and plasma gossypol of cows fed cottonseed and oilseed meals with or without rumen-undegradableprotein. *J. Dairy Sci.* 81:2934–2941.

- 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. 2003. Effects of carrying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:1370–1381.
- Broderick, G. A., A. P. 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., and M. K. Clayton. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentration of milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 80:2964–2971.
- Broderick, G. A., D. B. Ricker, and L. S. Driver. 1990. Expeller soybean meal and corn by-products versus solvent soybean meal for lactating dairy cows fed alfalfa silage as sole forage. *J. Dairy Sci.* 73:453–462.
- Broderick, G. A., P. Huhtanen, S. Ahvenjarvi, S. M. Reynal, and K. J. Shingfield. 2010. Quantifying ruminal nitrogen metabolism using the omasal sampling technique in cattle—A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 93:3216–3230.
- Cabrita, A. R. J., R. J. Dewhurst, D. S. P. Melo, J. M. Moorby, and A. J. M. Fonseca. 2011. Effects of dietary protein concentration and balance of absorbable amino acids on productive responses of dairy cows fed corn silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 94:4647–4656.
- Campanile, G., C. De Filippo, R. Di Palo, W. Taccone, and L. Zicarelli. 1998. Influence of dietary protein on urea levels in blood and milk of buffalo cows. *Livest. Prod. Sci.* 55:135–143.
- Castillo, A. R., E. Kebreab, D. E. Beever, J. H. Barbi, J. D. Sutton, H. C. Kirby, and J. France. 2001. The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J. Anim. Sci.* 79:247–253.
- Choung, J. y 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.

- Christen, K. A., D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, K. K. Karges, and M. L. Gibson. 2010. Response of lactating dairy cows to high protein distillers grains or 3 other protein supplements. *J. Dairy Sci.* 93:2095–2104.
- Christensen, D. A., y P. J. McKinnon. 1989. Canola meal for beef and dairy cattle. Pages 19–22 in *Canola Meal for Livestock and Poultry*. D. R. Clandinin, ed. Canola Council of Canada, Winnipeg, MB, Canada.
- Ciszek, A. U., y T. Gebregziabher. 1994. Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats. *Acta Agric. Scand.* 44:87–95.
- Clark, J. H. 1975. Lactational responses to postruminal administration of proteins and amino acids. *J. Dairy Sci.* 58:1178–1197.
- 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.
- Creamer, L. K., Y. Zhang, K. Brew, L. Sawyer, N. W. Haggarty, H. Korhonen, and P. Marnila. 2003. Milk Proteins. Pages 1881– 1994 in *Encyclopedia of Dairy Sciences*, Vol. 3. H. Roginski, J. W. Fuquay, and P. F. Fox, ed. Academic Press, London, UK.
- Davidson, S., B. A. Hopkins, D. E. Diaz, S. M. Bolt, C. Brownie, V. Fellner, and L. W. Whitlow. 2003. Effects of amounts and degradability of dietary protein on lactation, nitrogen utilization and excretion in early lactation Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 86:1681–1689.
- Davidson, S., B. A. Hopkins, J. Odle, C. Brownie, V. Fellner, and L. W. Whitlow. 2008. Supplementing limited methionine diets with rumen-protected methionine, betaine, and choline in early lactation Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 91:1552–1559.
- DePeters, E. J., and D. L. Bath. 1986. Canola meal versus cottonseed meal as the protein supplement in dairy diets. *J. Dairy Sci.* 69:148–154.
- 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.

- Dinn, N. E., J. A. Shelford, and L. J. Fisher. 1998. Use of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System and rumen-protected lysine and methionine to reduce nitrogen excretion from lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:229–237.
- Ekinci, C., and G. A. Broderick. 1997. Effect of processing high moisture ear corn on ruminal fermentation and milk yield. *J. Dairy Sci.* 80:3298–3307.
- 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.
- Fenwick, G. R. 1982. The assessment of a new protein source—Rapeseed.
- Grenet, N., and M. Journet. 1971. Rapeseed oil meal in animal feeding. III. Influence of the processing method and the proportion of oil meal in concentrate fed to dairy cows on feed intake, milk production and composition. *Ann. Zootech.* 20:437–449.
- 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.
- Groff, E. B., y Z. Wu. 2005. Milk production and nitrogen excretion of dairy cows fed different amounts of protein and carrying proportions of alfalfa and corn silage. *J. Dairy Sci.* 88:3619–3632.
- 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, R. 1991. Rapeseed meal in the diets of ruminants. *Nutr. Abstr. Rev.* 61:139–155. (Series B).
- 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., H. Khalili, and 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., M. Hetta, and C. Swensson. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a metaanalysis. *Can. J. Anim. Sci.* 91:529–543.
- Laarveld, B., and D. A. Christensen. 1976. Rapeseed meal in complete feeds for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 59:1929–1935.
- Lapierre, H., D. Pacheco, R. Berthiaume, D. R. Ouellette, C. G. Schwab, P. Dubreuil, G. Holtrop, and G. E. Lobley. 2006. What is the true supply of amino acids for a dairy cow? *J. Dairy Sci.* 89(E Suppl.):E1–E14.
- Lapierre, H., G. E. Lobley, L. Doepel, G. Raggio, H. Rulquin, and S. Lemosquet. 2012. Mammary metabolism of amino acids in dairy cows. *J. Anim. Sci.* 90:1708–1721.
- Lapierre, H., J. P. Blouin, J. F. Bernier, C. K. Reynolds, P. Dubreuil, and G. E. Lobley. 2002. Effect of supply of metabolizable protein on whole body and splanchnic leucine metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:2631–2641.
- Lee, C., A. N. Hristov, K. S. Hyler, T. W. Cassidy, M. Long, B. A. Corl, and S. K. R. Karnati. 2011b. Effects of dietary protein concentration and coconut oil supplementation on nitrogen utilization and production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94:5544–5557.

- Leonardi, C., M. Stevenson, and L. E. Armentano. 2003. Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:4033–4042.
- Martineau, R., D. R. Ouellet, and H. Lapierre. 2013. Feeding canola meal to dairy cows: A meta-analysis on lactational responses. *J. Dairy Sci.* 96:1701-1714.
- Maxin G., Ouellet, D. R. y H. Lapierre. 2012. Ruminal degradability of dry matter, crude protein, and amino acid in soybean meal, canola meal, corn, and wheat dried distillers grains. *J. Dairy Sci.* 96:5151–5160.
- Maxin, G., Ouellet, D. R., y Lapierre, H. 2013. Effect of substitution of soybean meal by canola meal or distillers grains in dairy rations on amino acid and glucose availability. *J. Dairy Sci.* 96:7806–7817.
- Metcalf, J. A., D. Wray-Cahen, E. E. Chettle, J. D. Sutton, D. E. Beever, L. A. Crompton, J. C. MacRae, B. J. Bequette, and F. R. C. Backwell. 1996. The effect of dietary crude protein as protected soybean meal on mammary metabolism in the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 79:603–611.
- 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.
- 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.
- Mulrooney, C.N., D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur and A.R. Hippen, 2008. Canola meal replacing dried distillers grains with soluble in lactating dairy cow diets. Proceedings of American Association of Animal Sciences, mid west section Annual meeting, Des Moines, Iowa. Abstract 110.
- 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.

- Newkirk, R. 2009. Canola Meal: Feed Industry Guide. 4th ed. Canadian International Grains Institute, Winnipeg, MB, Canada.
- 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.
- Olmos Colmenero, J. J., and G. A. Broderick. 2006a. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1704–1712.
- Olmos Colmenero, J. J., and G. A. Broderick. 2006c. Effect of amount and ruminal degradability of soybean meal protein on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1635–1643.
- 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.
- Patton, R. A. 2010. Effect of rumen-protected methionine on feed intake, milk production, true milk protein concentration, and true milk protein yield, and the factors that influence these effects: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 93:2105–2118.
- Pot, E. 1909 *Handbuch der tierschen Ernährung und der landwirtschaftlichen*. lii, pp. 82-96. *Proc. Nutr. Soc.* 41:277–288.
- Raggio, G., D. Pacheco, R. Berthiaume, G. E. Lobley, D. Pellerin, G. Allard, P. Dubreuil, and H. Lapierre. 2004. Effect of level of metabolizable protein on splanchnic flux of amino acids in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:3461–3472.
- Raggio, G., G. E. Lobley, S. Lemosquet, H. Rulquin, and H. Lapierre. 2006b. Effect of casein and propionate supply on whole body protein metabolism in lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 86:81–89.
- Reynal, S. M., and G. A. Broderick. 2003. Effects of feeding dairy cows protein supplements of varying ruminal degradability. *J. Dairy Sci.* 86:835–843.
- Rinne, M., K. Kuoppala, S. Ahvenjarvi, and A. Vanhatalo. 2006. Rypsi soijaa parempi lypsylehmien valkuaistaydennys myös apilapitoista sailorehua

- syotettaessa. In Maataloustieteen paivat 2006. Suomen Maataloustieteellisen Tiedote 21:1–7. A. Hopponen, ed. Accessed Oct. 5, 2011. <http://www.smts.fi/esit06/1002.pdf>.
- Robinson, P. H. 2010. Impacts of manipulating ration metabolizable lysine and methionine levels on the performance of lactating dairy cows: A systematic review of the literature. *Livest. Sci.* 127:115–126.
- Samuelson, D. J., S. K. Denise, R. Roffler, R. L. Ax, D. V. Armstrong, and D. F. Romagnolo. 2001. Response of Holstein and Brown Swiss cows fed alfalfa hay-based diets to supplemental methionine at two stages of lactation. *J. Dairy Sci.* 84:917–928.
- Sanchez, J. M., y D. W. Claypool. 1983. Canola meal as protein supplement in dairy rations. *J. Dairy Sci.* 66:80–85.
- Sannes, R. A., M. A. Messman, and D. B. Vagnoni. 2002. Form of rumen-degradable carbohydrate and nitrogen on microbial protein synthesis and protein efficiency of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:900–908.
- Santos, F. A. P., and J. T. Huber. 1995. Effects of rumen undegradable protein on dairy cow performance: A 10 year literature review. *J. Dairy Sci.* 78(Suppl. 1):293. (Abstr.)
- Santos, F. A. P., J. E. P. Santos, C. B. Theurer, and J. T. Huber. 1998. Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: A12-year literature review. *J. Dairy Sci.* 81:3182–3213.
- Schingoethe, D. J., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and A. D. Varga. 2009. Invited review: The use of distillers products in dairy cattle diets. *J. Dairy Sci.* 92:5802–5813.
- Sharma, H. R., J. R. Ingalls, and J. A. McKirdy. 1977. Effects of feeding a high level of Tower rapeseed meal in dairy rations on feed intake and milk production. *Can. J. Anita. Sci.* 57:653.
- 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 silagebased diets. *Anim. Sci.* 77:305–317.

- Socha, M. T., D. E. Putnam, B. D. Garthwaite, N. L. Whitehouse, N. A. Kierstead, C. G. Schwab, G. A. Ducharme, and J. C. Robert. 2005. Improving intestinal amino acid supply of pre- and postpartum dairy cows with rumen-protected methionine and lysine. *J. Dairy Sci.* 88:1113–1126.
- Stern, M., and C. Ziemer. 1993. Consider value, cost when selecting nonforage fiber. *Feedstuffs* 65(2): 14.
- Swaigood, H. E. 1995. Protein and amino acid composition of bovine milk. Pages 464–472 in *Handbook of Milk Composition*. R. G. Jensen, ed. Academic Press, London, UK.
- Swanepoel, N., P.H. Robinson, L.J. Erasmus. 2014. Determining the optimal ratio of canola meal and high protein dried distillers grain protein in diets of high producing Holstein dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 189 (2014) 41–53.
- 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:R16–R28.
- 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. Finland* 1:375–439.
- Vagnoni, D. B., G. A. Broderick, M. K. Clayton, and R. D. Hatfield. 1997. Excretion of purine derivatives by Holstein cows abomasally infused with incremental amounts of purines. *J. Dairy Sci.* 80:1695–1702.
- Vanhatalo, A., E. Pahkala, P. Salo-Vaananen, H. Korhonen, V. Piironen, and P. Huhtanen. 2003. Rapeseed and soybean as protein supplements of dairy cows fed grass silage based diets. Pages 1238–1240 in *Proc. 11th Intl. Rapeseed Congress: Enhanced Value of Cruciferous Oilseed Crops by Optimal Production and Use of the High Quality Seed Components*. H. Sorensen, J. C. Sorensen, S. Sorensen, N. Bellostas Muguerza, and C. Bjerregaard, ed. The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark.
- Varel, V. H., J. A. Nienaber, and H. C. Freedly. 1999. Conservation of nitrogen in cattle feedlot waste with urease inhibitors. *J. Anim.Sci.* 77:1162–1168.

- Waghorn, G. C., and R. L. Baldwin. 1984. Model of metabolite flux within mammary gland of the lactating cow. *J. Dairy Sci.* 67:531–544.
- Wang, C., J. X. Liu, Z. P. Yuan, Y. M. Wu, S. W. Zhai, and H. W. Ye. 2007. Effect of Level of Metabolizable Protein on Milk Production and Nitrogen Utilization in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90:2960–2965.
- Wright, C. F., M. A. G. von Keyserlingk, M. L. Swift, L. J. Fisher, J. A. Shelford, and N. E. Dinn. 2005. Heat- and lignosulfonate-treated canola meal as a source of ruminal undegradable protein for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:238–243.
- Wright, T. C., S. Moscardini, P. H. Luimes, P. Susmel, and B. W. McBride. 1998. Effects of rumen-undegradable protein and feed intake on nitrogen balance and milk protein production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:784–793.
- Wu, Z., and L. D. Satter. 2000. Milk production during the complete lactation of dairy cows fed diets containing different amounts of protein. *J. Dairy Sci.* 83:1042–1051.
- Zhang, S. Z., G. B. Penner, W. Z. Yang, and M. Oba. 2010b. Effects of partially replacing barley silage or barley grain with dried distillers grains with soluble on rumen fermentation and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:3231–3242.