



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

USO DE COLINA PROTEGIDA EN LA ALIMENTACIÓN DE CABRAS Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE

FRANCISCO JAVIER VERA VÁZQUEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

ENERO 2016

La presente tesis titulada: **USO DE COLINA PROTEGIDA EN LA ALIMENTACIÓN DE CABRAS Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE**, realizada por el alumno: **FRANCISCO JAVIER VERA VÁZQUEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA

Ma. Magdalena C. G.

Dra. María Magdalena Crosby Galván

ASESORA

Ma. Esther Ortega C.

Dra. María Esther Ortega Cerrilla

ASESOR

Dr. Germán Buendía Rodríguez

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Enero de 2016

USO DE COLINA PROTEGIDA EN LA ALIMENTACIÓN DE CABRAS Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE

Francisco Javier Vera Vázquez

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

La colina es un compuesto similar a las vitaminas con funciones importantes, entre ellas, como componente de los fosfolípidos, manteniendo la integridad de las membranas así como en la digestión y metabolismo de los lípidos. La colina es degradada en el rumen, por lo que debe ser protegida. El objetivo de este estudio fue determinar si la suplementación de colina protegida en concentraciones de (0,4 y 8 g animal⁻¹ d⁻¹) mejora la calidad de la leche (porcentaje de grasa, proteína, sólidos no grasos y lactosa) de cabras Saanen. Veintiuna cabras Saanen (50.00 ± 5.00 kg PV) fueron asignadas aleatoriamente a tres tratamientos (0, 4 y 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida Excential rumenpass CH[®]) en un diseño completamente al azar. La prueba de comportamiento tuvo una duración de 60 d. La colina protegida no afectó (P>0.05) producción de leche (kg d⁻¹) y lactosa (%), así como la concentración de urea y triglicéridos (mmol L⁻¹) en plasma sanguíneo; se observaron diferencias (P<0.05) en el porcentaje de grasa, proteína y sólidos no grasos en leche. La alimentación de cabras con 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida aumentó el porcentaje de grasa, proteína y sólidos no grasos.

Palabras claves: colina, producción de leche, cabra, grasa, postparto.

USE OF PROTECTED CHOLINE IN GOATS FEED AND ITS EFFECTS ON MILK

PRODUCTION

Francisco Javier Vera Vázquez

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

Choline is a vitamin-like compound that has important functions, such as being a component of phospholipids, maintaining membrane integrity, lipid digestion and metabolism. Choline is easily degraded in the rumen, it must be protected from the ruminal degradation. The objective of this study was to determine if protected choline supplementation in different concentrations, (0, 4 and 8 g protected choline animal⁻¹ d⁻¹, improves milk quality (percentage of fat, protein, lactose and non-fat solids) of Saanen goats. Twenty-one Saanen goats (50.00 ± 5.00 kg BW) were randomly assigned to one of three treatments (0, 4 and 8 g animal⁻¹ d⁻¹ protected choline Excential rumenpass CH[®]) in a completely randomized design. The performance trial lasted 60 days. Protected choline did not affect ($P>0.05$) milk production (kg d⁻¹), density (g mL⁻¹), lactose (%) and the concentration urea and triglycerides (mmol L⁻¹) in blood plasma; differences were observed ($P<0.05$) in the percentage of fat, protein, and non-fat solids in milk. Goats fed with 8 g d⁻¹ of protected choline increased the percentage of fat, protein and non-fat solids in milk.

Keywords: choline, milk yield, goat, fat, postpartum

DEDICATORIA

A Dios:

Por permitirme cumplir este proyecto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, así como permitirme vivir cada día llenándome de bendiciones y protegiendo a mis seres queridos.

A mis padres:

Juan y Gregoria por su cariño, consejos y amor brindados durante todos estos años, y por el apoyo incondicional brindado durante mi formación profesional.

A mis hermanos:

Fabricio, Jorge, Rodolfo, Areli e Iris por su cariño y amor brindado en esta etapa de mi vida y siempre.

A mi cuñada:

Rosalva por formar parte de nuestra familia y ser una buena esposa, por su cariño y amistad brindada.

A mis sobrinos:

Elix Iván, Juan Carlos, Cristel y Franco por ser la Alegría de la casa y por llegar a formar parte de nuestra familia.

A mis amigos:

Alfredo y Sandra por alentarme a seguir adelante, por su cariño, consejos y amistad brindada durante mi formación profesional. A mis amigos por compartir conmigo momentos agradables y por acompañarme en este logro tan importante en mi vida. Y por último a todas las personas que con su presencia han enriquecido mi vida y mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

Francisco Javier

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico que me otorgó para poder continuar mi formación académica y así poder obtener el grado de Maestro en Ciencias. Al Colegio de Postgraduados por permitirme realizar mis estudios de Maestría.

A la **Dra. María Magdalena Crosby Galván** por el apoyo, orientación y confianza que me brindó para la realización de este trabajo de investigación y por permitirme formar parte de su equipo de trabajo. A la **Dra. María Esther Ortega Cerrilla** por sus enseñanzas y por formar parte de mi consejo particular, al igual que al **Dr. Germán Buendía Rodríguez** por su colaboración y aceptar formar parte del consejo particular para esta investigación.

Al **M.V.Z. José Luíz Cordero** por su amistad brindada y por apoyarme en el desarrollo de este trabajo. A mis amigos que laboran en el CCIT, en el módulo de traspatio; Berna, Yaneth, Pili, Abraham y Checo por su amistad y apoyo.

Al personal que labora en el laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería; Sr. Tacho, Oscar, Mariana.

En especial a la **Ing. Margarita Crosby Galván** por apoyarme en los análisis de las muestras.

A las secretarias de Ganadería Sra. Ana Luisa. Sra. Celsa y Sra. Leticia por su amistad y amabilidad para conmigo durante mi estancia en dicho postgrado.

A mis amigos, Mariana, Hugo, Lupita, Juanita, Fanny, Beto, Omar, Ever y en especial a mis amigos Haydée y Carlos España que me apoyaron en la elaboración de esta tesis.

“Estoy absolutamente convencido de que la ciencia y la paz triunfan sobre la ignorancia y la guerra, que las naciones se unirán a la larga no para destruir sino para edificar, y que el futuro pertenece a aquellos que han hecho mucho por el bien de la humanidad”.

Louis Pasteur

Contenido

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	4
3. OBJETIVOS.....	5
3.1. Objetivo general.....	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. HIPÓTESIS.....	5
5. REVISIÓN DE LITERATURA	6
5.1. Producción caprina en México	6
5.2. Producción de Leche	6
5.3. Requerimientos Alimenticios	7
5.4. Vitaminas liposolubles.....	8
5.5. Vitaminas hidrosolubles	8
5.6. Requerimientos de vitaminas.....	9
5.7. Factores que influyen sobre la utilización de vitaminas	10
5.8. Degradación y síntesis de vitaminas hidrosolubles en el rumen.....	10
5.9. Absorción de las Vitaminas	11
5.10. Colina.....	11
5.11. Funciones de la colina	13
5.12. Usos de la colina en la nutrición animal.....	15
5.13. Colina protegida (Excential rumenpass CH®)	19
6. MATERIALES Y MÉTODOS	19
6.1. Localización	19
6.2. Animales	20
6.3. Alimentación	21

6.4. Análisis de las dietas experimentales	22
6.5. Ordeño, peso y tomas de muestras de leche.....	22
6.6. Análisis de las muestras de leche	23
6.7. Tomas de muestras de sangre	23
6.8. Análisis de urea	24
7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	25
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
9. CONCLUSIONES.....	33
10. LITERATURA CITADA.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis bromatológico de las dietas experimentales.....	22
Cuadro 2. Producción de leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.	27
Cuadro 3. Porcentaje de proteína en leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.....	28
Cuadro 4. Porcentaje de grasa en leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.....	30
Cuadro 5. Porcentaje de sólidos no grasos en leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.....	31
Cuadro 6. Porcentaje de lactosa en leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.....	32
Cuadro 7. Concentración (mmol/L) de urea y fosfolípidos en suero sanguíneo de cabras alimentadas con dos dosis de colina protegida.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de la colina	12
--	-----------

1. INTRODUCCIÓN

Las cabras forman unos de los grupos importantes de animales productores de leche, tanto en las regiones templadas como tropicales y su importancia se ve reflejada en el constante aumento de la población caprina en los últimos años. (SAGARPA, 2012). A pesar de este crecimiento, el sector caprino ha recibido significativamente menor apoyo gubernamental en comparación con otras especies como bovinos lecheros, ganado de carne, aves y cerdos (Elizondo, 2008).

La leche de cabra es un producto que poco a poco se hace más popular en los mercados mundiales, más allá de las fronteras de aquellos países donde en la actualidad es ya uno de los componentes principales de la dieta de millones de personas (Villalobos, 2005). El valor nutricional de la leche de cabra ha sido reconocido desde hace años y su importancia en la nutrición humana depende en gran medida de las cualidades únicas de grasa que contiene (Haenlein, 2004). La leche de cabra posee valores nutricionales y terapéuticos; sólo la supera la leche materna humana con mayor calidad nutricional y de sabor agradable; las propiedades terapéuticas de la leche de cabra se reconocen desde los inicios de la civilización, al mostrar efectos contra los malestares gastrointestinales (Flores *et al.*, 2009).

Las cabras deben ser alimentadas de tal forma que se ofrezca a cada animal los nutrientes para cubrir sus necesidades y la mejor forma de hacerlo es conociendo de

manera precisa sus requerimientos nutricionales. Los minerales y vitaminas forman parte de los nutrientes requeridos por las cabras y deben ser suministrados en la dieta ya que cumplen con funciones importantes para un adecuado crecimiento y desempeño reproductivo (Elizondo, 2008).

Las vitaminas son un grupo heterogéneo de sustancias orgánicas que son factores esenciales de alta actividad biológica y que son requeridas en pequeñas cantidades para el mantenimiento y crecimiento de los tejidos, deben ser suministradas en la dieta, ya sea porque el organismo no las puede sintetizar o no las pueden sintetizar en cantidades suficientes para una óptima salud y desempeño productivo y reproductivo (Apaza, 2014).

Las características propias de la fisiología digestiva de los rumiantes adultos hacen que prácticamente la totalidad de los alimentos ingeridos se vean sometidos a la acción digestiva ruminal antes de ser digeridos en abomaso y absorbidos en el intestino. Los principales factores que condicionan la intensidad de la acción digestiva ruminal son la naturaleza del producto y el tiempo de permanencia en retículo-rumen. Ambos aspectos son plenamente aplicables al caso de los aditivos utilizados en la alimentación de los rumiantes, y en particular, al caso de las vitaminas y aminoácidos (Torre y Caja, 1998).

En muchos casos elevando las dosis administradas del nutriente o aditivo vía oral, no se consigue un aumento significativo de su concentración en sangre o en intestino, como consecuencia de su degradación ruminal. Por lo anterior, se han desarrollado distintos

métodos de protección que permiten que los nutrientes pasen el rumen sin ser alterados y así puedan ser digeridos en abomaso y absorbidos en intestino (Torre y Caja, 1998).

La colina puede ser protegida mediante técnicas de microencapsulación, que es un método que consiste en el recubrimiento de materiales sólidos y líquidos, donde se logra proteger los materiales activos, dirigirlos de manera controlada a su sitio de liberación y transformar el estado del activo para su mejor incorporación en diferentes matrices, entre otras ventajas. Entre los materiales utilizados como recubrimiento se encuentran los biopolímeros (polisacáridos, proteínas, compuestos hidrofóbicos) y polímeros artificiales. Esta técnica está revolucionando diferentes áreas del conocimiento, y para el caso particular de las ciencias veterinarias, la investigación se ha centrado principalmente en la nutrición animal, diagnósticos, administración de agentes terapéuticos, desarrollo de vacunas y reproducción (Valenzuela *et al.*, 2013). Mediante la encapsulación se pueden obtener diferentes tipos de preparados: liposomas, micro o nano partículas, esferas y matrices principalmente. La microencapsulación protege a los materiales de factores como el calor y la humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad, también se ha utilizado para mejorar el sabor y la estabilidad de medicamentos y como barrera contra los malos olores y sabores (Martín *et al.*, 2009).

2. JUSTIFICACIÓN

Para las industrias procesadoras de leche de cabra es importante conocer la calidad de la leche enviada por sus proveedores, y medir sistemáticamente parámetros químicos que sirven para aceptar o rechazar la materia prima y establecer los precios de pago. Aunado a esto, la leche de cabra tiene un nicho de mercado dirigido a niños convalecientes y personas alérgicas a la leche de otras especies. Comparada con la leche de vaca, la de cabra es digerida más fácilmente debido al tamaño más pequeño de los glóbulos de grasa y a los diferentes tipos de caseínas que contiene (alfa, beta, kappa). En vacas, se ha demostrado que la adición de colina en forma protegida mejora la producción y calidad de la leche, sin embargo, en México, no se encuentra suficiente información sobre el efecto en cabras. Es por ello que surge el interés de realizar el siguiente trabajo suplementando colina protegida a cabras Saanen en periodo de lactancia para cuantificar si se mejora la producción y calidad de la leche.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de colina protegida (Excential Rumenpass CH®) en la producción y calidad de leche de cabras.

3.2. Objetivos específicos

Cuantificar si al agregar colina protegida (Excential Rumenpass CH®) en diferentes concentraciones (0, 4 y 8 g animal⁻¹ d⁻¹) en la alimentación de cabras aumenta la producción y mejora la composición de la leche.

4. HIPÓTESIS

La inclusión de colina protegida (Excential Rumenpass CH®) aumenta la producción y mejora la composición de la leche en cabras lecheras.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Producción caprina en México

De acuerdo a datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2013 la población de ganado caprino fue de 8 664 613 cabezas, menor que en 2012 con 8 743 949 cabezas. Para 2013 la producción de leche de cabra en miles de litros fue de 152 332 menor que 2012 que fue de 155 636. Por lo que la producción nacional de leche de ganado caprino ha mostrado una disminución en los últimos años, al igual que el rebaño nacional (SIAP, 2015).

5.2. Producción de Leche

En México los sistemas de producción caprina se caracterizan por desarrollarse bajo sistemas extensivos y, en pocos casos, estabulados (SAGARPA, 2012). En la mayoría de las unidades de producción, se observan inadecuados esquemas de alimentación, problemas de salud y deficiencias en la higiene de las cabras, fallas en las prácticas de manejo, falta de control de las zoonosis, deficiente capacitación del personal, entre otras limitantes. Aunado a lo anterior, la falta de conocimiento del consumidor de las ventajas nutritivas y de salud que representa el consumo de leche de cabra en comparación con la leche de vaca, han hecho que la leche de cabra sea destinada principalmente para la elaboración de dulces y derivados (SAGARPA, 2012).

La leche caprina es una excelente fuente de proteína animal que puede ser consumida por niños y adultos en forma de leche fresca o en queso, pudiéndose obtener entre 1 a

3 litros de leche d⁻¹. Las cabras especializadas en producción de leche pueden también contribuir a los ingresos de la familia. Con la cría de cabras, una familia puede acceder a una producción láctea artesanal con mayor libertad de espacio que con una vaca (FAO, 2004).

La raza que más se utiliza en los países menos desarrollados es la Criolla, aunque casi siempre existe algún grado de cruzamiento con razas más especializadas (Bidot, 2006). En las grandes empresas comerciales utilizan en sus unidades de producción razas lecheras especializadas provenientes de razas europeas como son: Anglo-Nubian, Alpina, Saanen y Toggenburg, las cuales son manejadas bajo una producción intensiva y con altos insumos tecnológicos (Mellado, 2008).

5.3. Requerimientos Alimenticios

En cabras lecheras bajo sistemas intensivos de producción, los programas de alimentación han de apoyarse en el adecuado conocimiento de las necesidades nutritivas de los animales, en una correcta estimación del valor nutritivo de los alimentos y en una precisa formulación de las raciones que se destinan a cada grupo de animales (Jimeno *et al.*, 2003).

En la formulación de dietas para cabras lecheras un aspecto clave a considerar son las variaciones de la capacidad de ingestión y del consumo voluntario de alimentos a lo largo

del ciclo productivo, ya que el consumo de energía es el principal factor limitante del nivel de producción de leche (Jimeno *et al.*, 2003).

La cabra necesita llegar a la lactancia con suficientes reservas corporales para que la producción de leche sea máxima (Church y Pond, 2010). Cuando sus requerimientos básicos no logran ser cubiertos, utiliza sus reservas, con la consecuente pérdida de peso y condición corporal lo cual afecta en el rendimiento productivo y reproductivo (Rosales *et al.*, 2006).

5.4. Vitaminas liposolubles

Las vitaminas liposolubles (A, D, E Y K) son un grupo de compuestos orgánicos incapaces de diluirse en agua, requiriéndose para su absorción, agregados grasos, en esta forma se absorben en el intestino delgado. Este grupo de compuestos requieren el consumo diario y los beneficios que aportan al organismo se relacionan al mantenimiento de una función visual adecuada, mejora del sistema inmune, antioxidantes y protección de la membrana celular y prevención de enfermedades infecciosas (Apaza, 2014).

5.5. Vitaminas hidrosolubles

La mayor parte de las vitaminas hidrosolubles (vitamina B₂, vitamina B₆, vitamina B₁₂, Ácido Pantoténico, Niacinamida) se requieren en pequeñas cantidades. Todas son compuestos orgánicos, pero no guardan relación entre sí en cuanto a estructura (Church

y Pond, 2010). En rumiantes dadas las características especiales del tubo digestivo muchas de las vitaminas hidrosolubles, especialmente las del complejo B, pueden ser sintetizadas en cantidades superiores a los requerimientos por los microorganismos del rumen (Torre y Caja, 1998).

5.6. Requerimientos de vitaminas

Los rumiantes requieren vitaminas liposolubles sin embargo, las vitaminas A y E son las únicas con un requerimiento absoluto en la dieta. La vitamina K es sintetizada por los microorganismos del rumen y del intestino. La vitamina D se sintetiza en la piel por la radiación ultravioleta (NRC, 2007). Consecuentemente la digestión puede aumentar cuando minerales y vitaminas se incluyen en la dieta (Prado, 2007). El requerimiento de vitamina A para cabras con una producción promedio de 3 L de leche d^{-1} es de 2.675 equivalentes de retinol d^{-1} , el de vitamina D es de 10 UI kg^{-1} PV d^{-1} . La vitamina E es requerida para prevenir la peroxidación de la membrana subcelular (Ramírez-Bribiesca, *et al.*, 2005), el requerimiento es de 5.3 UI kg^{-1} PV d^{-1} (NRC, 2007). Los microorganismos ruminales sintetizan la mayor parte de las vitaminas solubles en agua y los ingredientes comúnmente utilizados en la alimentación animal, generalmente contienen altas concentraciones de estas vitaminas (Prado, 2007).

Las vitaminas son requeridas en pequeñas cantidades. En condiciones normales, las cabras no necesitan ingerir vitaminas del complejo B. Por el contrario, el grupo de vitaminas liposolubles, principalmente A, D y E, necesitan ser consumidas o

administradas, los forrajes verdes o conservados, generalmente son ricos en este grupo de vitaminas (Gómez *et al.*, 2009).

5.7. Factores que influyen sobre la utilización de vitaminas

Existen varias causas de deficiencia vitamínica, la más frecuente es la falta del nutriente en la dieta. Otro factor importante es la variabilidad metabólica; la ingestión adecuada para un individuo puede ser insuficiente para otro; sin embargo hay una serie de factores que pueden influir sobre los requerimientos vitamínicos que no tiene que ver con la cantidad de vitamina consumida o con el metabolismo (Lloyd, 1982).

5.8. Degradación y síntesis de vitaminas hidrosolubles en el rumen

La información sobre la degradación ruminal de las vitaminas hidrosolubles administradas oralmente es muy escasa. La primera referencia disponible corresponde al trabajo realizado por Koenig *et al.* (1999) donde indicaron que el ácido ascórbico se destruye completamente en el rumen en menos de 2 h. Especial interés tiene el trabajo realizado por Zinn *et al.* (1987) donde se ofrecieron diferentes niveles de suplementación vitamínica en becerros en engorda, los resultados indicaron que el metabolismo ruminal y la síntesis microbiana es diferente para los distintos grupos de vitaminas.

La pared del rumen es permeable a algunas vitaminas del complejo B, pero la absorción ruminal tiene poca importancia ya que las vitaminas sintetizadas se encuentran en el interior de los cuerpos microbianos y no estarán disponibles hasta la ruptura de su

membrana. La mayor parte (97 %) de la colina ingerida se degrada en pocos minutos en el rumen, debido a que es muy higroscópica. Entre las vitaminas que son ampliamente metabolizadas en el rumen se encuentran, niacina, ácido fólico y riboflavina (Sharma y Erdman 1989).

5.9. Absorción de las Vitaminas

No todas las vitaminas que se encuentran en los alimentos están en una forma absorbible. Por ejemplo, en algunos cereales la niacina está unida a una proteína que impide su absorción intestinal. El tratamiento con álcali libera a la vitamina de este complejo. Las vitaminas liposolubles no pueden ser absorbidas bajo ninguna circunstancia que impida la digestión y absorción de las grasas. (Lloyd, 1982). El sitio de absorción para la vitamina A y caroteno es el yeyuno proximal (Solomons, 2006). La vitamina E se absorbe en conjunto con la digestión y absorción de grasa requiere de sales biliares y enzimas pancreáticas lipasa y esterasa, la mayoría de la vitamina E se absorbe en los dos tercios superiores del intestino delgado (Bjorneboe, *et al.*, 1990).

5.10. Colina

La colina se aisló por primera vez de bilis de cerdo en 1849 y su estructura se dio a conocer en 1867 (Fig. 1). La colina se halla distribuida ampliamente en los tejidos animales en forma de colina libre, acetilcolina y como componente de los fosfolípidos,

que incluyen la lecitina y la esfingomiélin. La colina añadida a los alimentos por lo comun se administra como cloruro de colina o citrato acido de colina (Church y Pond, 2010).

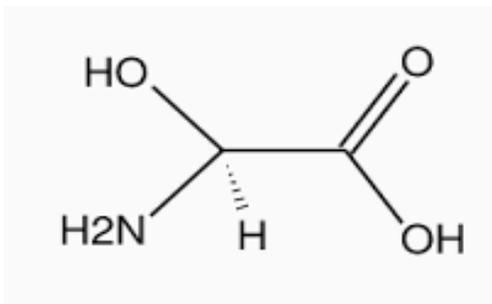


Figura 1. Estructura química de la colina

Este compuesto también difiere de las características generales de las vitaminas; al menos en mamíferos, si la ración provee suficientes grupos metilos, la colina puede sintetizarse en el hígado en cantidades adecuadas para cubrir los requerimientos del animal (Shimada, 2009).

La colina no es una vitamina debido a que no participa en procesos enzimáticos, y se requiere en cantidades de gramos en comparación con las vitaminas que se requieren en cantidades de miligramos (NRC, 2001). En comparación con otras vitaminas hidrosolubles, la colina no tiene alguna función conocida como coenzima en las reacciones enzimáticas (NRC, 2007). Funciona de varias maneras, principalmente como un fosfolípido, teniendo un papel importante en la integridad de la membrana celular y participando en la digestión y transporte de lípidos (Bindel *et al.*, 2000).

Las fuentes importantes de colina son la fracción fosfolipídica de las semillas de oleaginosas, huevos y grasa animal. En el metabolismo puede incorporarse directamente al diacilglicerol en forma de histidina difosfato colina para formar fosfatidilcolina (FC) un fosfolípido que es un componente de todas las membranas celulares y las lipoproteínas que funcionan para el transporte de lípidos a través del sistema circulatorio (Grummer, 2012). La FC es importante para el cerebro y la señalización neuromuscular, participa en la señalización intracelular y es un constituyente integral de todas las membranas celulares, también conocida como lecitina (Hartwell *et al.*, 2000). Además la FC puede formarse por metilación de la fosfatidiletanolamina, añadiéndose tres grupos metilo mediante S-adenosilmetionina. La fosfatidilcolina es un componente esencial de la membrana celular y subcelular (Fuller, 2004). Si las dos moléculas de ácido graso de la fosfatidilcolina son de ácido palmítico, actúa como tensoactivo realizando una función importante en el desarrollo de la función pulmonar de los recién nacidos. Al igual que la acetilcolina, participa en la transmisión nerviosa (Fuller, 2004).

5.11. Funciones de la colina

La función principal de la colina es la formación de acetil-colina (sustancia que se libera en las terminales de los nervios parasimpáticos), lecitina, esfingomiélin y betaína (que se utiliza como donador de grupos metilo en la síntesis de metionina y creatina). La presencia de colina previene perosis, ya que forma parte de los fosfolípidos requeridos para la matriz cartilaginosa del hueso. Aunque la mayor parte de colina corporal se encuentra como fosfolípidos, la molécula intacta es necesaria para la prevención de

perosis en aves y afecciones de hígado graso y riñón hemorrágico en mamíferos (Shimada, 2009).

Se ha demostrado que colina es un nutriente requerido por muchos animales, incluyendo ratas, ratones, perros, cerdos, pollos, y otras especies, es importante para la función normal de todas las células. La forma más común de colina en los sistemas biológicos es la (FC) (Fuller, 2004).

Colina está involucrada con el transporte de la grasa desde el hígado, sintetizado en parte por metionina (Sales *et al.*, 2010). Proporciona grupos metilo lábil para las reacciones de transmetilación y es necesario para la síntesis de fosfatidilcolina que se encuentra en las membranas celulares (Ardalan *et al.*, 2011). Por lo tanto, la deficiencia de colina en el ganado lechero puede estar asociada con lipidosis hepática o hígado graso (Zahra *et al.*, 2006).

El hígado graso es un trastorno metabólico que puede afectar hasta al 50% de las vacas lecheras de alta producción durante el período de transición, esto puede comprometer la salud, la producción y la reproducción (Jorritsma *et al.*, 2000). El uso de colina protegida en dietas para vacas lecheras, tiene un efecto positivo en la reducción de hígado graso (Cooke *et al.*, 2007). La colina al ser un componente de los fosfolípidos juega un papel esencial en la síntesis de lipoproteínas de muy baja densidad y de ese modo contribuye a la movilización de grasa desde el hígado (Zeysel, 2006).

La síntesis de *novo* de colina ocurre a través de la metilación secuencial de fosfatidiletanolamina, con los grupos metilo siendo suministrados por S-adenosilmetionina (SAM). Sin embargo, la presencia de esta vía no significa que no se requiere de colina externa (Pinotti *et al.*, 2002). El papel de la colina en la nutrición no fue reconocido hasta 1930, después del descubrimiento de la insulina (Erdman, 1984).

La desmetilación de la colina es una reacción irreversible. Tanto el riñón como el hígado parecen ser los sitios principales para la degradación de colina, presentándose los productos terminales formato, amoníaco y CO₂. La trimetilamina también es un producto terminal importante del proceso de degradación de la colina de la dieta (Erdman, 1984). Presumiblemente, esto se debe a la fermentación bacteriana en el intestino. No hay excreción de trimetilamina cuando a los animales se les administra este compuesto por vía endovenosa o intraperitoneal (Erdman, 1984).

5.12. Usos de la colina en la nutrición animal.

Una de las intervenciones nutricionales que pueden mejorar la productividad y la salud metabólica en los rumiantes lecheros es la administración de suplementos de colina. A diferencia de las vitaminas clásicas, esta puede ser sintetizada de manera endógena y un síndrome de deficiencia de colina es a menudo indetectable en mamíferos sanos (Savoini *et al.*, 2010). Colina es un agente lipotrópico debido a que tiene un papel

importante en el metabolismo lipídico, en particular en el transporte de lípidos, y es capaz de prevenir o corregir la deposición de grasa excesiva en el hígado (Baldi *et al.*, 2011).

La suplementación con colina puede ser más crítica durante un déficit de nutrientes y la extensa movilización de lípidos tales como durante la síntesis de calostro y leche en la lactancia temprana (Lima *et al.*, 2012). Es posible que la suplementación con colina protegida antes y después del parto aumente la síntesis de FC y lipoproteína de muy baja densidad y, en consecuencia, mejorar el metabolismo lipídico (Lima *et al.*, 2012). Una vía alternativa para la producción de FC es utilizar colina como un precursor y así aumentar el suministro de FC, esto podría ser benéfico para el metabolismo de lípidos en la lactancia temprana (Piepenbrink y Overton, 2003).

Desafortunadamente la mayoría de colina en la dieta se degrada por las poblaciones microbianas del rumen, protozoarios principalmente (Sharma y Erdman, 1989), y no mucho se encuentra disponible para la absorción; por lo tanto, la colina debe estar en forma protegida.

Baldi y Pinotti (2006) estudiaron el metabolismo de colina protegida en vacas lecheras de alta producción, proporcionando 20 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida 14 d antes del parto y 30 d después del parto. Los resultados muestran un aumento para producción de leche (2.9 kg por animal⁻¹ d⁻¹), para grasa, proteína y niveles plasmáticos de glucosa en sangre no se encontraron diferencias. Pinotti *et al.* (2003) reportaron que al proporcionar

20 g animal⁻¹ d⁻¹ de cloruro de colina protegida en vacas lecheras, aumentaron los niveles plasmáticos de fosfolípidos.

Desde los trabajos realizados por Erdman en 1992, se ha puesto de manifiesto que la infusión abomasal de 60 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida tiende a aumentar la producción de leche y de grasa en vacas lecheras, pero sólo la forma protegida resulta eficaz en su uso como suplemento alimenticio (Erdman, 1992). En otro estudio que se realizó con vacas lecheras ofreciendo 30-45 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida con lo cual se aumentó la producción en 1.9 kg animal⁻¹ d⁻¹ (Erdman, 1992.).

Ardalan *et al.* (2011) investigaron el efecto de adicionar colina protegida y metionina protegida en la alimentación de vacas lecheras. Utilizaron 40 vacas Holstein de primera y segunda lactancia a las cuales les proporcionaron 18 g animal⁻¹ d⁻¹ de metionina y 60 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida, cuatro semanas antes del parto y 10 semanas después del parto encontrando diferencias significativas en la producción de leche.

Pinotti *et al.* (2008) estudiaron los efectos en la producción de leche en cabras adicionando colina protegida y vitamina E, para lo cual se utilizaron 48 cabras multíparas Saanen, el experimento tuvo una duración de 72 d. Las dosis a evaluar fueron de 4 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida y 200 UI de vitamina E. Se encontraron diferencias en producción y cantidad de grasa en leche de la misma en cabras a las que se les proporcionó colina protegida. En relación a la vitamina E, no se encontraron diferencias en la producción de leche y composición de la misma.

Piepenbrink y Overton (2003) evaluaron el efecto de alimentar vacas lecheras Holstein con dosis altas, 45, 60 y 75 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida, en la última etapa de gestación y al principio de la lactancia, utilizaron 48 vacas Holstein multíparas agrupadas en cuatro tratamientos, con las cuatro dosis, el producto se proporcionó 21 d antes del parto y 63 d después del parto. Producción de leche, condición corporal, consumo de materia seca y triglicéridos en el hígado, fueron similares en los cuatro tratamientos. En las vacas a las que se les proporcionó colina protegida el rendimiento de grasa corregida en leche, sólidos totales y glucógeno fue mayor.

Zahra *et al.* (2006) estudiaron el efecto de adicionar colina protegida y monensina en la producción de leche y en el metabolismo de vacas lecheras. Las variables a evaluar fueron: el consumo de materia seca, producción de leche y la función hepática. En este trabajo se utilizaron 182 vacas Holstein multíparas agrupadas al azar en los siguientes tratamientos; testigo, monensina más 56 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida, y el grupo al que se le proporcionó solo 56 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida. El producto se proporcionó antes del parto y después del parto. En producción de leche no se encontraron diferencias pero en el grupo de vacas a las que solo se les proporcionó colina la producción incrementó 1.2 kg animal⁻¹ d⁻¹ en los primeros 60 d después del parto. El grupo de vacas con monensina presentaron aumentos en las concentraciones séricas de glucosa, urea, además del glucógeno hepático.

5.13. Colina protegida (Excential rumenpass CH®)

Excential rumenpass CH® contiene cloruro de colina al 25 % en forma protegida para lograr una mayor eficacia y que sea degradada en el rumen para su uso en la alimentación animal. Este producto es producido y comercializado por la empresa ORFFA la cual se encuentra en Holanda y tiene un centro de distribución en México D.F. La presentación del producto es en bulto de 25 kg, el cual se recomienda guardarlo en lugares frescos y secos, protegiéndolo de la luz y el calor. Este producto puede ser almacenado durante 18 meses después de la fecha de fabricación en el envase original sin abrir.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización

El estudio se realizó en la granja experimental del establo y los análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal, ambas instalaciones correspondientes al Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Ubicado en el Km 36.5 de la carretera México-Texcoco, en Montecillo, Texcoco Estado de México. A una altitud de 2240 msnm. El clima de la región es templado con lluvias en verano, época seca en invierno y una temperatura promedio anual de 15.2 °C. La precipitación media anual es de 636.5 mm.

6.2. Animales

Se utilizaron 21 cabras Saanen, 50.00 ± 5.00 kg PV. El trabajo se realizó del día 120 de gestación y hasta los primeros 30 d de lactancia, de diciembre del 2014 a febrero del 2015. Todos los procedimientos involucrados en el manejo de las cabras durante el periodo experimental se realizaron de acuerdo con la norma oficial mexicana de especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (NOM-062-ZOO-1999).

A las cabras se les realizó un diagnóstico de gestación con ultrasonido, en el cual se utilizó un equipo para ultrasonido marca Sono vet 600[®] para detectar que las cabras no estuvieran gestantes, posteriormente se les aplicó los CIDR (Dispositivo Intravaginal de Liberación Controlada) elaborados por la Empresa Pfizer, S.A de C.V. que contienen 0.3 gramos de progesterona, 10 d después, se les aplicó vía intramuscular 0.5 mL de celosil[®], producto el cual contiene prostaglandina sintética, 2 d después se retiraron los CIDR, se detectaron celos, observando cada 4 h a las cabras que empezaron a manifestar celo, una vez que la cabra fue detectada se sacó un semental para que la cabra fuera inseminada naturalmente, para llevar a cabo la inseminación se utilizaron cinco sementales Saanen con un peso aproximado de 100 kg. A los 30 d después de haber inseminado se les realizó un segundo diagnóstico de gestación para verificar el número de hembras que quedaron gestantes. Con este diagnóstico el número de cabras gestantes fue de 21 (Monreal *et al.*, 2002).

Las cabras en el tiempo que estuvieron gestantes permanecieron en el módulo de traspatio del Centro de Capacitación e Innovación Tecnológica (CCIT) del Colegio de Postgraduados y en el último mes de gestación fueron trasladadas al establo de la granja experimental en donde se alojaron al azar por un tiempo de 60 d en corrales individuales con una dimensión de 1.5 x 1.5 m y distribuidas al azar en tres tratamientos: (0, 4 y 8 g animal⁻¹ d⁻¹) de colina protegida.

6.3. Alimentación

La ración se ofreció individualmente, 7:30 h y 15:00 h, se les proporcionó 1 kg animal⁻¹ d⁻¹ de alimento 17 % PC y 2.9 Mcal kg⁻¹ de Energía Metabolizable (EM) y 2 kg animal⁻¹ d⁻¹ de heno de alfalfa. El agua se les proporcionó *ad libitum*.

Se realizó el análisis bromatológico de la dieta para determinar: materia seca, cenizas, extracto etéreo, proteína total (AOAC, 2005), fibra detergente neutro y fibra detergente ácido (Van Soest *et al.*, 1991).

Los resultados del análisis bromatológico de las dietas se presentan en el cuadro 1.

6.4. Análisis de las dietas experimentales

Cuadro 1. Análisis bromatológico de las dietas experimentales.

Nutrientes (%)	0 g	4 g	8 g
Humedad	8.00	7.33	7.59
Cenizas	13.43	13.96	13.75
Proteína Cruda	17.24	17.58	17.40
Extracto Etéreo	3.00	3.10	3.10
FDN	34.90	34.28	33.28
FDA	27.69	27.73	27.58
Calcio	4.13	4.20	4.15
Fósforo	0.32	0.38	0.35

FDN= Fibra Detergente Neutro.

FDA= Fibra Detergente Ácido.

6.5. Ordeño, peso y tomas de muestras de leche

Las cabras fueron ordeñadas manualmente a las 7:30 a 8:15 hrs. La ordeña de las cabras se llevó a cabo durante los primeros 30 d postparto. Se pesó la leche todos los días, para esto se utilizó una báscula digital marca Tor Rey. Al momento en que se pesó la leche, se tomó una muestra por cabra la cual se recolectó en un frasco de plástico de 120 mL para posteriormente almacenarse a una temperatura de -20 °C. Las tomas de muestras de leche se recolectaron dos veces por semana, recolectándose 21 muestras por semana.

6.6. Análisis de las muestras de leche

Las muestras de leche almacenadas se descongelaron a temperatura ambiente un día antes de ser analizadas y posteriormente se calentaron a 30 °C en un baño maría marca Felisa, modelo FF372 con capacidad de 8 litros, para posteriormente medir: porcentaje de grasa, proteína, sólidos no grasos, y lactosa. Para estos análisis se ocupó el analizador de leche marca LACTOSCAN modelo S de 4 líneas y 16 caracteres.

Una vez que las muestras alcanzaban los 30 °C se sacaban del baño maría y se depositaba en un matraz de 250 mL y se homogenizaba la muestra, se tomaba una muestra de 15 mL, que era colocada en el portamuestra del equipo para que fuera leída y con ello cuantificar.

6.7. Tomas de muestras de sangre

Para determinar la concentración de fosfolípidos y urea en suero sanguíneo, al finalizar el experimento, se colectaron muestras de sangre a las 10 h, por punción de la vena yugular, se utilizaron tubos vacutainer y tubos de vidrio de 5 mL marca Monoject™, que contenían 0.05 mL de EDTA (K₃) como anticoagulante, las muestras de sangre se llevaron al laboratorio en donde se centrifugaron a 1233 x g durante 15 min para separar el suero del plasma, utilizando una centrifuga marca Beckman modelo J2-H3. El suero se almacenó a -20 °C en un tubo eppendorf de 1.7 mL para posteriormente realizar los análisis.

Para la detección de fosfolípidos en suero se utilizó un kit enzimático colorimétrico marca SPINREACT con número de catálogo 1001140. De acuerdo a la metodología de (Takayama, 1977).

Las muestras se incubaron a 37 °C en un baño maría marca Felisa modelo FF372 por 5 min, posteriormente se enfriaron por 10 min, pasado el tiempo las muestras se leyeron en un espectrofotómetro marca Beckman, a una longitud de onda (λ) de 505 nanómetros.

Para calcular la concentración de fosfolípidos se utilizó la siguiente fórmula y el factor de conversión:

Cálculo:

$$\frac{(A)\text{Muestra}}{(A)\text{Patrón}} \times 300 (\text{Conc. Patrón}) = \text{mg/dL de fosfolípidos de la muestra}$$

Factor de conversión: mg/dL x 0.0129= mmol/L.

6.8. Análisis de urea

Para determinar la concentración de urea en suero sanguíneo se utilizó la técnica de Chaney y Marbach (1962), se preparó una curva patrón con soluciones de urea (12.5 mg/dL, 25 mg/dL, 50 mg/dL y 100 mg/dL). Se utilizó reactivo de fenol nitroprusiato y reactivo de hipoclorito de sodio alcalino. En tubos de ensayo se colocaron 20 μ l de solución patrón de urea, 20 μ l de suero, 1 mL de fenol y 1 mL de hipoclorito,

posteriormente las muestras se incubaron en un baño maría marca Felisa a 37 °C durante 20 min, se les agrego 5 mL de agua destilada y se leyeron en un espectrofotómetro marca VARIAN modelo Cary® 1E a una longitud de onda de 630 nanómetros.

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental es un Diseño completamente al Azar bajo el siguiente modelo.

$$Y_{ij} = \mu + \delta_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j – ésima repetición en el i – ésimo tratamiento

μ = Media general

δ_i = Efecto del tratamiento i

ε_{ij} = Error experimental

Para el análisis de urea y fosfolípidos en sangre se empleó el procedimiento PROC GLM de SAS. Para analizar el efecto entre tratamientos se realizó por medio de una comparación de medias empleando el procedimiento de Tukey (Steel y Torrie, 1996). Para el análisis de producción de leche y para las variables analizadas en la leche: porcentaje de proteína, de grasa, de sólidos totales y lactosa se empleó el procedimiento PROC MIXED de SAS (SAS, 2011).

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de leche

Los resultados de producción de leche se muestran en el Cuadro 2. Los valores de producción de leche no fueron diferentes ($P>0.05$) entre tratamientos. Las respuestas en la producción de leche en animales que se suplementan productos de colina protegida durante el periodo de postparto, principalmente en vacas han sido significativos (Overton y Waldron, 2004), aunque estas respuestas pueden variar considerablemente. A veces pueden ser influenciadas por las características de la dieta como pueden ser; cantidad de proteína, cantidad de forraje, así como el porcentaje de metionina (Erdman y Sharma, 1991). La metionina es un aminoácido esencial e importante para la síntesis de colina y por lo tanto no debe ser ignorado, si la cantidad de metionina no es la adecuada en la dieta, se inhibe la síntesis de colina a partir de metionina, por lo cual el rendimiento de leche se puede ver afectado (Sharma y Erdman, 1988), citado por Janovick *et al.*, (2006). En el caso particular de este trabajo, aunque se les proporcionó colina protegida a las cabras, la cantidad de metionina pudo haber sido baja en la dieta lo que ocasionó que no se observara respuesta en la producción de leche.

Cuadro 2. Producción de leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.

PERIODO EN DÍAS	T ₀	T ₁	T ₂	EEM	P>F
1	2.18	2.20	2.35	0.1177	0.6911
2	2.11	2.11	2.19	0.1141	0.8330
3	2.18	2.10	2.32	0.1268	0.7333
4	2.85	2.97	2.13	0.1104	0.5058
5	2.19	2.20	2.39	0.1345	0.6339
6	2.32	2.33	2.37	0.1381	0.9000
7	2.41	2.37	2.40	0.1369	0.9877
8	2.40	2.22	2.29	0.1423	0.7797
9	2.32	2.26	2.37	0.1307	0.9155
10	2.37	2.23	2.23	0.1376	0.7462
11	2.63	2.53	2.60	0.1596	0.9385
12	2.45	2.62	2.70	0.1420	0.5667
13	2.38	2.50	2.39	0.1333	0.9710
14	2.63	2.83	2.69	0.1631	0.8895
15	2.44	2.61	2.50	0.1505	0.9050
16	2.40	2.33	2.21	0.1236	0.6310
17	2.33	2.53	2.51	0.1472	0.6669
18	2.59	2.85	2.72	0.1822	0.7444
19	2.62	2.89	2.77	0.1800	0.7207
20	2.66	2.84	2.73	0.1609	0.8672
21	2.60	2.93	3.29	0.1752	0.0912
22	2.57	3.14	2.83	0.1817	0.5327
23	3.16	3.71	3.05	0.2253	0.7835
24	2.68	3.00	2.90	0.1886	0.5937
25	2.88	3.02	2.66	0.2110	0.5889
26	2.81	2.96	2.81	0.1787	0.9900
27	2.70	3.00	2.42	0.1740	0.5018
28	2.78	3.00	2.38	0.1701	0.3316
29	2.90	2.80	2.38	0.2241	0.2047
30	2.77	2.54	2.18	0.1949	0.1566

T₀: Testigo; T₁: T₀ + 4 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida, T₂: T₀ + 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida.

Medias con diferente literal en las columnas son diferentes (P<0.05).

EEM= Error Estándar de la Media.

Análisis de la composición de la leche

Proteína

En los resultados del porcentaje de proteína (Cuadro 3) se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre tratamientos. El cual fue mayor en el tratamiento en el que se proporcionó una dosis de $8 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de colina protegida.

Cuadro 3. Porcentaje de proteína en leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.

	Días							
	4	8	12	16	20	24	28	32
T ₀	2.88 ^b	2.92 ^b	2.93 ^b	2.94 ^b	2.97 ^b	2.95 ^b	2.89 ^b	2.98 ^b
T ₁	3.05 ^b	3.10 ^b	3.07 ^b	3.06 ^b	2.94 ^b	2.99 ^b	3.02 ^b	3.13 ^b
T ₂	3.18 ^a	3.16 ^a	3.21 ^a	3.13 ^a	3.17 ^a	3.24 ^a	3.25 ^a	3.22 ^a
EEM	0.0443	0.0424	0.0411	0.0373	0.0421	0.0501	0.0570	0.0422

T₀: Testigo; T₁: T₀ + $4 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de colina protegida, T₂: T₀ + $8 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de colina protegida.

Medias con diferente literal en las columnas son diferentes ($P < 0.05$).

EEM= Error Estándar de la Media.

En un experimento realizado por D'Ambrosio *et al.* (2007) con cabras Saanen, al proporcionar colina protegida reportaron aumento en la cantidad de proteína de la leche. Esto puede deberse a que al proporcionar colina protegida, ya sea a cabras o vacas lecheras, la cantidad de proteína en leche tiende a aumentar (Elek *et al.*, 2008). Erdman y Sharman, (1991), observaron una relación cuadrática del contenido de proteína de la leche con el aumento de la concentración de colina protegida en vacas lecheras. En este experimento hubo un aumento en la cantidad de proteína en la leche, en cabras a las que se les proporcionó $8 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de colina protegida. En otro estudio realizado por

Scheer *et al.* (2002) reportaron que en vacas a las que se les suplementaron 15 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida, la cantidad de proteína en la leche aumentó.

Grasa

En los resultados del porcentaje de grasa (Cuadro 4) se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre tratamientos. Erdman y Sharman, (1991) reportaron una respuesta en la concentración de grasa de la leche de vacas Holstein a las que se les proporcionó colina protegida. En este experimento, en las cabras a las cuales se les proporcionó 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida se observó que el porcentaje de grasa en la leche aumentó, esto se debe a que la colina contribuye al transporte de ácidos grasos en la sangre y puede mejorar la disponibilidad de ácidos grasos para la síntesis de grasa en la leche (Piepenbrink y Overton, 2003). La colina se incorpora también en los fosfolípidos alrededor de los glóbulos de grasa, por lo tanto, una mayor disponibilidad de colina puede aumentar la producción de grasa (Pinotti *et al.*, 2003).

Cuadro 4. Porcentaje de grasa en leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.

	Días							
	4	8	12	16	20	24	28	32
T ₀	3.00 ^b	3.15 ^b	2.90 ^b	3.02 ^b	3.05 ^b	2.84 ^b	3.12 ^b	2.98 ^b
T ₁	3.12 ^b	3.64 ^b	3.30 ^b	3.18 ^b	3.45 ^b	3.09 ^b	3.11 ^b	3.21 ^b
T ₂	4.22 ^a	4.06 ^a	3.68 ^a	3.44 ^a	4.03 ^a	4.31 ^a	4.29 ^a	4.28 ^a
EEM	0.1788	0.1633	0.1370	0.1351	0.1235	0.1718	0.1876	0.1572

T₀: Testigo; T₁: T₀ + 4 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida, T₂: T₀ + 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida.

Medias con diferente literal en las columnas son diferentes (P<0.05).

EEM= Error Estándar de la Media.

Sólidos no grasos

En los resultados del porcentaje de sólidos no grasos (Cuadro 5) se observaron diferencias (P>0.05) entre tratamientos. En este experimento el porcentaje de sólidos no grasos fue mejor en cabras a las cuales se les proporcionó 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida. La cantidad de grasa esta correlacionada con la cantidad de sólidos no grasos por lo que al aumentar la cantidad de grasa aumenta la cantidad de sólidos no grasos en la leche (Janovick *et al.*, 2006).

Cuadro 5. Porcentaje de sólidos no grasos en leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.

	Días							
	4	8	12	16	20	24	28	32
T ₀	8.11 ^b	8.07 ^b	7.86 ^b	8.05 ^b	7.98 ^b	7.61 ^b	8.11 ^b	7.86 ^b
T ₁	8.04 ^b	8.19 ^b	8.25 ^b	8.52 ^b	8.67 ^b	8.29 ^b	8.03 ^b	8.25 ^b
T ₂	8.65 ^a	8.85 ^a	8.87 ^a	8.80 ^a	9.01 ^a	8.66 ^a	8.65 ^a	8.87 ^a
EEM	0.1146	0.1359	0.1581	0.1243	0.1450	0.1347	0.1146	0.1581

T₀: Testigo; T₁: T₀ + 4 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida, T₂: T₀ + 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida.

Medias con diferente literal en las columnas son diferentes (P<0.05).

EEM= Error Estándar de la Media.

Lactosa

En el porcentaje de lactosa (Cuadro 6) no se observaron diferencias (P>0.05) entre tratamientos. Este resultado concuerda con otros trabajos en los que se ha proporcionado colina protegida en la alimentación como es el trabajo realizado por Strzetelski *et al.* (2009) en donde no observaron diferencias en el porcentaje de lactosa en leche de vacas a las que se les proporcionó colina protegida. En otro experimento realizado por Zom *et al.* (2011) con vacas lecheras a las cuales se les proporcionó colina protegida, de igual manera no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de lactosa en leche. Esto puede deberse a que la colina no participa en la ruta metabólica de la síntesis de carbohidratos.

Cuadro 6. Porcentaje de lactosa en leche de cabras alimentadas con dos dosis de inclusión de colina protegida.

	Días							
	4	8	12	16	20	24	28	32
T ₀	4.31	4.38	4.32	4.34	4.45	4.42	4.33	4.42
T ₁	4.19	4.64	4.60	4.58	4.40	4.49	4.51	4.69
T ₂	4.77	4.74	4.81	4.69	4.71	4.85	4.86	4.82
EEM	0.0612	0.0629	0.0652	0.0599	0.0617	0.0750	0.0836	0.0676

T₀: Testigo; T₁: T₀ + 4 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida, T₂: T₀ + 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida.

Medias con diferente literal en las columnas son diferentes (P<0.05).

EEM= Error Estándar de la Media.

Concentración (mmol L⁻¹) de urea y fosfolípidos en suero sanguíneo

En los resultados de la concentración (mmol L⁻¹) de urea y fosfolípidos en suero (Cuadro 7). Las concentraciones no fueron diferentes en ambos casos (P>0.05) entre tratamientos.

Cuadro 7. Concentración (mmol L⁻¹) de urea y fosfolípidos (mmol L⁻¹) en suero sanguíneo de cabras alimentadas con dos dosis de colina protegida.

	T ₀	T ₁	T ₂	EEM	P>F
Urea	7.59	9.15	10.60	0.2489	0.0761
Fosfolípidos	1.79	1.85	1.55	0.1065	0.3629

T₀: Testigo; T₁: T₀ + 4 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida, T₂: T₀ + 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida.

Medias con diferente literal en las columnas son diferentes (P<0.05).

EEM= Error Estándar de la Media.

Los resultados en cuanto a concentración de urea y fosfolípidos en suero sanguíneo no presentaron diferencias, con base a un trabajo realizado por D'Ambrosio *et al.* (2007) con cabras Saanen a las que se les proporcionó colina protegida, no encontraron diferencias entre tratamientos al evaluar estas mismas variables. Los valores promedios de urea en suero sanguíneo se encuentran dentro del rango que va de 7 a 15 mmol L⁻¹, de acuerdo a Ríos *et al.* (2001) quienes observaron que los valores promedio de la concentración de urea en suero sanguíneo de cabras fueron de 7 a 15 mmol L⁻¹, los cuales se encuentran dentro del rango descrito para esta especie que va de 7 a 14 mmol L⁻¹ descrito por Kaneko (1977). En este experimento los resultados obtenidos están dentro del rango que mencionan trabajos anteriores de 7.59 mmol L⁻¹ a 10.60 mmol L⁻¹.

9. CONCLUSIONES

Al proporcionar colina protegida en concentraciones de 4 y 8 g animal⁻¹ d⁻¹ no se observó un aumento en producción de leche, sin embargo se mejoró el porcentaje de grasa, sólidos no grasos y proteína de la leche de cabra cuando se proporcionó una dosis de 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida.

La concentración de urea y fosfolípidos en sangre no se modificó al proporcionar 4 y 8 g animal⁻¹ d⁻¹ de colina protegida.

10. LITERATURA CITADA

AOAC, 2005. Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C. 1298 p.

Apaza P., J. J. 2014. Vitaminas Liposolubles. Revista de Actualización Clínica. No. 41. ISSN 2304-3768. pp. 2151-2152.

Ardalan, M., Dehghan-Banadaky, M., Rezayazdi, K., and Ghavi Hossein-Zadeh, N. 2011. The effect of rumen-protected methionine and choline on plasma metabolites of Holstein dairy cows. *J. Agri. Sci*, 149(05): 639-646.

Baldi A. and Pinotti L. 2006. Choline metabolism in high-producing dairy cows; metabolic and nutritional basis. *Canadian J. Anim. Sci*, (86): 207–212.

Baldi, A., Bruckmaier, R., D'ambrosio, F., Campagnoli, A., Pecorini, C., Rebucci, R., and Pinotti, L. 2011. Rumen-protected choline supplementation in periparturient dairy goats: effects on liver and mammary gland. *J. Agri. Sci*, 149(05): 655-661.

Bidot A, y Bidot G. 2006. La producción de leche caprina y sus formas de comercialización. Recopilación. *Revista Agroenfoque*. No. 3. pp. 381-390.

Bindel, D. J., J. S. Drouillard, E. C. Titgemeyer, R. H., R. H. Wessels, and C. A. Loest. 2000. Effects of ruminally protected choline and dietary fat on performance and blood metabolites of finishing heifers. *J. Anim. Sci.* 78:2497- 2503.

Bjorneboe, A., A. Gunn-Elin and C.A. Drevon. 1990. Absorption, transport and distribution of vitamin E. *J. Nutr.* 120:233-242.

Cooke, R. F., Del Rio, N. S., Caraviello, D. Z., Bertics, S. J., Ramos, M. H., and Grummer, R. R. 2007. Supplemental choline for prevention and alleviation of fatty liver in dairy cattle. *J. Dairy. Sci.* 90(5): 2413-2418.

Chaney A.L, and Marbach E.P.1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8 (2):130-132.

Church, D.C.,Pond, W.G., y Pond, K.R. 2010. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. Editorial Limusa, México, D.F. pp. 260, 263,280, 281, 468, 469.

D'Ambrosio, F., Campagnoli, A., Susca, F., Fusi, E., Rebucci, R., Agazzi, A, Pinotti, L. and Baldi, A., 2007. Effects of rumen-protected choline supplementation in periparturient dairy goats. *Veterinary Research Communications*, 31(Suppl. 1), 393–396.

Elek, R., J. R. Newbold, I. Gaal, L. Wagner, and F. Husveth. 2008. Effects of rumen-protected choline supplementation on milk production and choline supply of periparturient dairy cows. *Animal* 2:1595–1601.

Elizondo, S, J.A. 2008. Requerimientos Nutricionales de cabras lecheras. III. Minerales y vitaminas. Facultad de Ciencias Agroalimentaria, Universidad de Costa Rica. pp. 1-2.

Erdman, R. A. 1984. Choline: Functions and Requirements. DUCOA. Highland, IL. pp. 2-12.

Erdman, R. A. and B. K. Sharma. 1991. Effect of dietary rumen-protected choline in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:1641–1647

Erdman, R.A. 1992. Large dairy herd management. Ed. H.H. Van Horn and C.J. Wilcox. ADSA, Champaign, IL. pp: 297-308.

FAO. 2004. Cabras lecheras como alternativa para mejorar la alimentación. Hoja informativa. Programa Estratégico para la Seguridad Agroalimentaria (PESA). pp. 1-4.

Fuller, M.F. 2004. Nutrición y Producción Animal. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. pp. 158.

Flores, C. M.A., Leal, R.P., Basurto, S. M.M., y Jurado, G.R. 2009. La leche de cabra y su importancia en la nutrición. *Revista Tecnociencia Chihuahua*. Vol. III, No. 2. pp. 107.

Gómez, G. A., Pinos, R.J. M. y Aguirre, R.J.R. 2009. Manual de Producción Caprina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. pp. 88-89.

Grummer, R. R. 2012. Choline: A limiting nutrient for transition dairy cows. In Proc. Cornell Nutr. Conf. Cornell University, Syracuse, NY .pp. 22-27.

Hartwell, J. R., Cecava, M. J., and Donkin, S. S. 2000. Impact of dietary rumen undegradable protein and rumen-protected choline on intake, peripartum liver triacylglyceride, plasma metabolites and milk production in transition dairy cows. J. Dairy. Sci, 83(12): 2907-2917.

Janovick Guretzky, N. A., D. B. Carlson, J. E. Garrett, and J. K. Drackley. 2006. Lipid metabolite profiles and milk production for Holstein and Jersey cows fed rumen-protected choline during the periparturient period. J. Dairy Sci. 89:188–200.

Jimeno, V., Rebollar, G.P. y Castro, T. 2003. Nutrición y Alimentación del Caprino de Leche en Sistemas Intensivos de Explotación. Departamento de Producción Animal. XIX Curso de Especialización FEDNA, Madrid, España. pp. 1-24.

Jorritsma, R., Jorritsma, H., Schukken, Y. H., and Wentink, G. H. 2000. Relationships between fatty liver and fertility and some periparturient diseases in commercial Dutch dairy herds. *Theriogenology*, 54(7): 1065-1074.

Kaneko, J. 1977. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. 5^a. ed. Academic Press. New York. pp. 496-542.

Koenig, K. M., Rode, L. M., Knight, C. D., and McCullough, P. R. 1999. Ruminant escape, gastrointestinal absorption, and response of serum methionine to supplementation of liquid methionine hydroxy analog in dairy cows. *J. Dairy sci*, 82(2): 355-361.

Lima, F. S., Sa Filho, M. F., Greco, L. F., and Santos, J. E. P. 2012. Effects of feeding rumen-protected choline on incidence of diseases and reproduction of dairy cows. *Vet. J. Sci*, 193(1): 140-145.

Lloyd, L.E., McDonald, B.E y Crampton, E.W. 1982. *Fundamentos de Nutrición*. Editorial Acribia, Zaragoza España. pp. 151-158 y 210-211.

Martín, V.M.J., Morales, H.M.E., Gallardo, L.V. y Ruíz, M.M.A. 2009. Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharm*. 50(1):43-50.

Mellado, M. 2008. Goat reproductive management under rangeland conditions. *Tropical and subtropical Agroecosystems*. 9: 47-63.

Monreal Duenhas, A. C., Toniollo, H. G., Zorzatto, J. R., and Bicudo, S. D. 2002. Goats synchronized with CIDR below latitude 20° or 28°S. *Archivos de Zootecnia*, 51, 453-456. pp. 1-4.

NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition. National Academy Press. 381 P.

NRC, National Research Council. 2007. Nutrient requirements of small ruminants. National Academy Press, Washington, D.C. USA. pp. 362.

Overton, T. R., and M. R. Waldron. 2004. Nutritional management of transition dairy cows: Strategies to optimize metabolic health. *J. Dairy Sci.* 87(E Suppl.):E105–E119.

Piepenbrink, M. S., and T. R. Overton. 2003. Liver metabolism and production of cows fed increasing amounts of rumen-protected choline during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 86:1722–1733.

Pinotti, L., Baldi, A., and Dell'Orto, V. 2002. Comparative mammalian choline metabolism with emphasis on the high-yielding dairy cow. *Nutr. Res. Rev.* 15(02): 315-332.

Pinotti L, Baldi A, Politis I, Rebucci R, Sangalli L and Dell'Orto V. 2003. Rumen protected choline administration to transition cows: effects on milk production and vitamin E status. *J. Vet. Med. Serie. A* 50, 18–21.

Prado, R.N.A. *Manual de Nutrición Animal*. 2007. Editorial: Grupo Latino editores Ltda. Colombia pp. 496-499 y 572-574.

Ramírez-Bribiesca, J.E., Tórtora, J.L., Huerta, M., Hernández, L.M., López, R., & Crosby, M.M.. (2005). Effect of selenium-vitamin E injection in selenium-deficient dairy goats and kids on the Mexican plateau. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 57(1), 77-84.

Ríos, C., Marín, M. P., Murasso, A., and Rudolph, W. 2001. Concentración de urea en la sangre y leche de cabras y su correlación en sistemas lecheros intensivos de la Región Metropolitana. *Avances en Ciencias Veterinarias*, (16): 52-57.

Rosales, N. C.A., Urrutia, J.M., Vázquez, G.H., Díaz, G. M.O, and Ramírez, A. B.M. 2006. Influencia del nivel de la alimentación en la actividad reproductiva de cabras criollas durante la estación reproductiva. *Tec Pec.* 44(3): 399- 406. pp. 400.

SAGARPA. 2012. *Manual de Buenas Practicas en Producción de Leche Caprina*. México, D.F. pp. 6.

Sales, J., Homolka, P., and Koukolova, V. 2010. Effect of dietary rumen-protected choline on milk production of dairy cows: A meta-analysis. *J. Dairy. Sci*, 93(8): 3746-3754.

Savoini, G., Agazzi, A., Invernizzi, G., Cattaneo, D., Pinotti, L., and Baldi, A. 2010. Polyunsaturated fatty acids and choline in dairy goats nutrition: Production and health benefits. *Small Rum. Res*, 88(2): 135-144.

Scheer, W. A., Lucy, M. C., Kerley, M. S. and Spain, J. N. 2002. Effects of feeding soybeans and rumen protected choline during late gestation and early lactation on performance of dairy cows. *J. Dairy Sci*. 85 (Suppl.1): 276.

Sharma, B.K. and Erdman, R.A. 1988. Abomasal infusion of choline and 2-methyl-1-propanol for lactating. *J. Dairy Sci*. 71(9):1-6.

Sharma, B. K., and R. A. Erdman. 1988. Effects of high amounts of dietary choline supplementation on duodenal choline flow and production responses of dairy cows. *J. Dairy Sci*. 71:2670–2676.

Sharma, B. K., and Erdman, R. A. 1989. Effects of dietary and abomasally infused choline on milk production responses of lactating dairy cows. *J. Nutr*, 119(2): 248.

Shimada, M. A. 2009. *Nutrición animal*. Editorial Trillas, México, D.F. pp 211, 212.

SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/opt/poblagand/Caprinos.pdf>. Abril, 2015.

Statistical Analysis System, 2011. SAS User's Guide: Statistics, version 9.0. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

Solomons, N.W. 2006. In Bowman, B.A. and Russell, R.M. (Editors) "Present Knowledge in Nutrition", ninth edition, International Life Science Institute, Washington, D.C. pp.157-183.

Steel, R. G. D., y Torrie J. H. 1996. Bioestadística: Principios y Procedimientos. Segunda edición. McGraw-Hill. México, D.F. 622 p.

Strzetelski, J. A., Kowalski, Z. M., Kowalczyk, J., Borowiec, F., Osieć-Głowski, S. and S'Łusarczyk, K. 2009. Protected methionine as a methyl group donor for dairy cows fed diets with different starch sources in the transition period. *Journal of Animal and Feed Sciences* 18, 28–41.

Takayama M, Itoh S, Nagasaki T and Tanimizu I. 1977. A new enzymatic method for determination of serum choline-containing phospholipids. *Clin. Chem. Acta* 79, pp 93–98.

Torre, C. y Caja, G., 1998. Utilización de Aditivos en Rumiantes: Vitaminas y Aminoácidos Protegidos. FEDNA, pp. 2- 15.

Valenzuela, V.C., Hernández, G.V., Rodríguez, S.F., y Carrillo, G.R. 2013. Tecnología de Encapsulación y su Aplicación en Ciencias Veterinarias. Avances en Ciencias Veterinarias V28 No. 2. Universidad de Chile. pp. 1-18.

Villalobos, A. C. 2005. Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*Capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. Agronomía Mesoamericana, 16(2): 239-252.

Van Soest, P.J. 1991. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. II A Rapid Method for the Detergmination of Fiber and Lignin. Assoc. Agr. Chem J. 46:829-835.

Zahra, L. C., Duffield, T. F., Leslie, K. E., Overton, T. R., Putnam, D., and LeBlanc, S. J. 2006. Effects of rumen-protected choline and monensin on milk production and metabolism of periparturient dairy cows. J. Dairy Sci, 89(12): 4808-4818.

Zinn, R. A., Owens, F, N., Stuart, R.F., Dunbar, J.R. y Norman, B.B. 1987. B-Vitamin supplementation of diets for feedlot calves. J. Anim. Sci, (65):267-277.

Zom, R. L. G, J. van Baal, R. M. A. Goselink, J. A. Bakker, M. J. de Veth, and A. M. van Vuuren. 2011. Effect of rumen-protected choline on performance, blood metabolites, and hepatic triacylglycerols of periparturient dairy cattle. J. Dairy Sci. 94:4016-4027.