



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS

**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON METIONINA
EN RACIONES DE OVEJAS LECHERAS SOBRE LA
PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE**

**Que para obtener el título de Licenciado
en Medicina Veterinaria y Zootecnia**

PRESENTA

Federico Arturo León Solís

Director (a)

Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández

Codirector (a)

Dr. Augusto Lizarazo Chaparro

Dr. Einar Vargas Bello Pérez

Comité tutorial

Dr. Rodolfo Vieyra Alberto

M. en C. Lilian Paola Guevara Muñetón

Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., mayo, 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Medicina Veterinaria y Zootecnia

JCAH/AAMVZ/001/2023

DR. ARMANDO PELÁEZ ACERO
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PRESENTE

Por medio de la presente, me dirijo a usted para informarle que, de acuerdo al artículo 40 del Reglamento de Titulación de nuestra máxima casa de estudios, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la tesis titulada "EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON METIONINA EN RACIONES DE OVEJAS LECHERAS SOBRE LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE", será presentada por el alumno Federico Arturo León Solís, con el número de cuenta 298469 del programa educativo del Medicina Veterinaria y zootecnia. La revisión de dicha tesis efectuada por el comité examinador ha declarado por unanimidad, APROBAR la impresión y defensa de la misma en el examen recepcional, como requisito parcial para la obtención del título de Médico Veterinario Zootecnista.

Table with 2 columns: Position (PRESIDENTE, SECRETARIO, VOCAL, VOCAL, VOCAL, SIDONAL SUPLEMENTE) and Name (Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández, Dr. Augusto Cesar Lizarazo Chaparro, Dr. Einar Vargas Bello Pérez, Dr. Rodolfo Vieyra Alberto, M. En C. Lilian Paola Guevara Muñetón, Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez). Includes handwritten signatures on the right.

Sin más por el momento y agradeciendo su atención me despido de usted, no sin antes reiterarle mi agradecimiento.

A T E N T A M E N T E

"Amor, Orden y Progreso"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 22 febrero de 2023

Dr. Rodrigo Salomón Hernández Acero
Coordinador del Programa Educativo de
medicina Veterinaria y Zootecnia

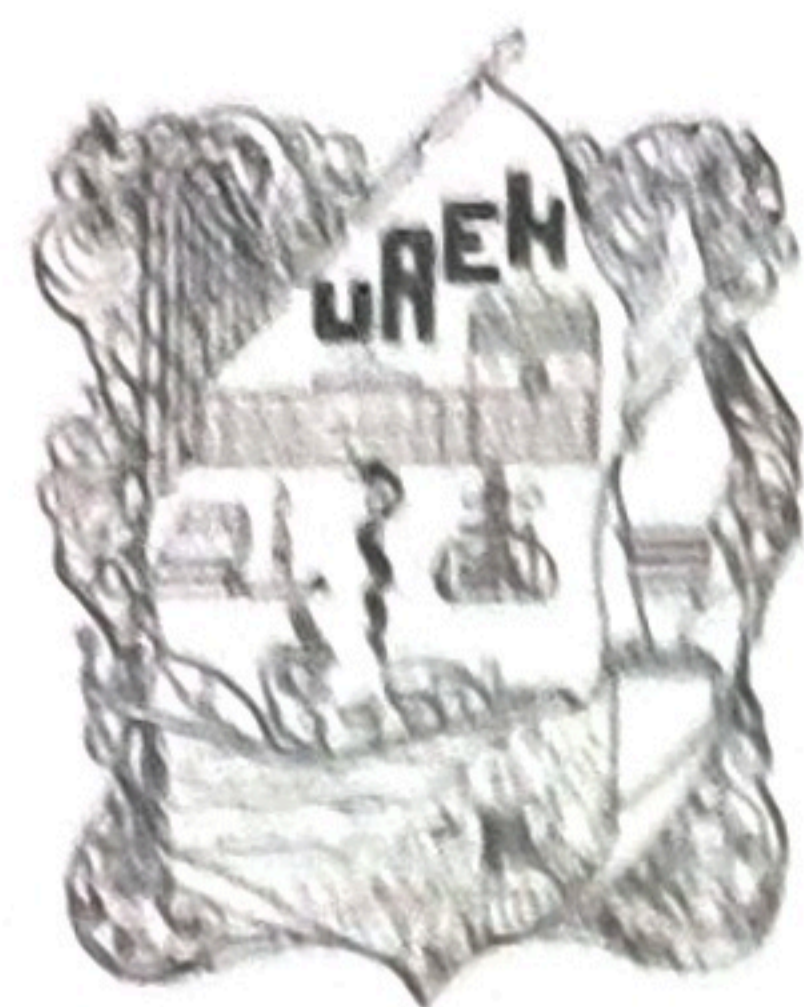
Dr. Vicente Vega Sánchez
Jefe del Área Académica de Medicina
Veterinaria y Zootecnia



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México; C. P. 43600

Teléfono: 771 717 2000 Ext. 2444
oscare@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

División Académica

Division of Academic Affairs

Dirección de Servicios Académicos

Office of Academic Services

Dirección de Bibliotecas y Centros de Información

University Libraries


OFICIO DE INCORPORACIÓN AL REPOSITORIO DE TESIS

Oficio Coo/RSHA/040/2023


Mtro. Jorge E. Peña Zepeda
Director de Bibliotecas y Centro de Información
Presente.

Por medio del presente hago constar que la tesis en formato digital titulado **EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON METIONINA EN RACIONES DE OVEJAS LECHERAS SOBRE LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE** que presenta **FEDERICO ARTURO LEÓN SOLÍS** con número de cuenta **298469**, cumple con el oficio de autorización de impresión y que se ha verificado es la versión digital del ejemplar impreso, por lo que solicito su integración en el repositorio institucional de tesis.

ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
22 mayo 2023


Dr. Rodrigo Salomón Hernández Aco
Coordinador de AAMVZ




Federico Arturo León Solís
Autor de tesis

Ciudad del Conocimiento
Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
Col. Carboneras, Mineral de la Reforma
Hidalgo, México, C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 ext. 6762
direccion_dbci@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx



Mineral de la Reforma, Hgo.; 23 de Mayo de 2023

El (La) que SUSCRIBE FEDERICO ARTURO LEON SOLIS egresado (a) del programa educativo LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA Fundamentado en los Arts. 16 Fracc. I y II; 18, 19, 20, 21 Fraccs. I y II; 148 Fracc. V y 151 Fracc. III, de la Ley Federal de Derechos de Autor, hace constar que es titular intelectual de **Tesis EFECTO DE LA SUPLEMENTACION CON METIONINA EN RACIONES DE OVEJAS LECHERAS SOBRE LA PRODUCCION Y COMPOSICION QUIMICA DE LA LECHE** denominada en lo sucesivo LA OBRA, con esta fecha, se autoriza a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (la INSTITUCIÓN), a través de la Biblioteca Central, para que, como depositaria, realice el resguardo físico y/o electrónico mediante copia digital o impresa para asegurar su disponibilidad, divulgación, comunicación pública, distribución, transmisión, reproducción, así como digitalización de la misma con fines académicos y sin fines de lucro.

Lo antes expuesto, se limita a la **SI** divulgación total de LA OBRA en comento en el repositorio de tesis en formato electrónico el cual forma parte del SISTEMA de información científica y tecnológica de la Universidad del (SISTEMA) del mismo modo la **SI** disposición pública de La Obra en formato físico en estantería de la Biblioteca Central en acceso restringido, indefinido o limitado.

Asimismo, se le concede a LA INSTITUCIÓN la facultad para que a través de LA OBRA se puedan generar productos derivados bajo los mismos términos y condiciones de uso de la obra original, sin que ello implique que se le concede licencia o autorización alguna o algún tipo de derecho distinto al mencionado respecto a la "propiedad intelectual" de la misma obra; incluyendo todo tipo de derechos patrimoniales sobre obras y creaciones protegidas por derechos de autor y demás formas de propiedad industrial o intelectual reconocida o que lleguen a reconocer las leyes correspondientes.

Al reutilizar, reproducir, transmitir y/o distribuir LA OBRA, la INSTITUCIÓN se compromete a reconocer y dar crédito de autoría de la obra intelectual en los términos especificados por el propio autor, y el no hacerlo implica el término de uso de esta licencia para los fines estipulados. Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos patrimoniales y morales de EL AUTOR.

De la misma manera, se hace manifiesto que el contenido académico, literario, la edición y en general cualquier parte de LA OBRA son responsabilidad de EL AUTOR, por lo que se deslinda a LA INSTITUCIÓN por cualquier violación a los derechos de autor y/o propiedad intelectual, así como cualquier responsabilidad relacionada con la misma frente a terceros.

FEDERICO ARTURO LEON SOLIS

Nombre completo del autor y firma.

La presente tesis titulada **EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON METIONINA EN RACIONES DE OVEJAS LECHERAS SOBRE LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE**, realizada por el alumno **FEDERICO ARTURO LEÓN SOLIS** ha sido aprobada por el comité tutorial como requisito parcial para obtener el título de LICENCIADO EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA.

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México., mayo, 2023

DEDICATORIAS

Quiero dedicar este trabajo de investigación a mi familia, sin ellos no hubiera sido posible este logro, gracias por siempre procurar mi bienestar y por darme los ánimos y la oportunidad de poder estudiar la carrera que deseaba, gracias por los sacrificios que tuvieron que hacer y gracias por siempre confiar en mí.

Mamá, quiero expresarte en este trabajo de investigación el agradecimiento a que siempre me preguntabas como me sentía, que te tomabas el tiempo de platicar conmigo y de motivarme a seguir trabajando, así como el saber afrontar las adversidades de la mejor manera, sin duda tus enseñanzas me han ayudado para la formación del hombre que soy actualmente.

Papá, quiero expresarte en este trabajo de investigación el agradecimiento a las veces que te preocupabas por mi desempeño académico, a las veces que nos íbamos a trabajar juntos y a los consejos que me dabas, todo eso me ha ayudado para la formación del hombre que soy actualmente.

Hermana, quiero expresarte en este trabajo de investigación el agradecimiento a las veces que salíamos y platicábamos, a los consejos que me brindabas y a saber que siempre podía contar contigo, todo eso me ha ayudado para la formación del hombre que soy actualmente, gracias

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos los que hicieron posible este trabajo de investigación para así cumplir una meta muy importante en mi vida:

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo que me permitió estar un paso más cerca de lo que aspiro ser como profesionista.

Al área académica del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP) de la UAEH por las instalaciones, aulas, laboratorios y materiales necesarios para desarrollar la licenciatura.

Al Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (CEPIPSA) de la UNAM por brindar el espacio y animales para este trabajo de investigación.

Al director de tesis, el Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández por su guía, apoyo, los consejos y su conocimiento.

A los codirectores de tesis, el Dr. Augusto Lizarazo Chaparro y el Dr. Einar Vargas Bello Pérez por su paciencia y apoyo a distancia.

A los asesores de tesis, la Dr. Lilian Paola Guevara Muñetón, el Dr. Rodolfo Vieyra Alberto y el Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez por sus correcciones y análisis de este trabajo de investigación.

A la Dr. Maricela por su apoyo motivacional durante la carrera.

A mis padres (Magdalena y Federico) por siempre confiar en mí y darme la oportunidad de estudiar la carrera que deseaba.

Mi hermana (Magdalena) por todos los consejos y las pláticas de motivación.

A mis amigos de los "Chocoranchs" (Alex, Nilda, Beto, Carli, Gibi, Max) por estar siempre presentes conmigo.

A mis ligues fallidos, que me hicieron más fuerte y más responsable con mis actividades académicas.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	3
AGRADECIMIENTOS	4
CONTENIDO.....	5
ÍNDICE DE CUADROS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. MARCO TEÓRICO	12
2.1 Situación de la producción de leche ovina en México y el mundo.	12
2.1.1 Situación mundial.	12
2.1.2 Producción de leche de oveja en México	14
2.2 La Leche de oveja y su composición química.....	16
2.2.1 Composición de la grasa en la leche de ovejas	18
2.2.2 Proteínas.....	18
2.2.3 Carbohidratos.....	20
2.2.4 Minerales.....	20
2.2.5 Vitaminas	21
2.3 Factores que afectan la producción y composición de la leche ovina	21
2.3.1 Factores genéticos	21
2.3.2 Factores fisiológicos.....	22
2.3.3 Factores ambientales o de manejo	25
2.3.4 Sanidad	26
2.3.5 Factores Nutricionales.....	26
2.4 Manipulación nutricional de la producción y composición química de la leche ovina	27
2.5 La metionina como aditivo en la producción de leche ovina	29
2.5.1 Estructura química de los AA.....	31
2.5.2 Digestión y metabolismo de la metionina.....	32
2.5.3. Rutas metabólicas en las cual participa metionina.....	35

III.	JUSTIFICACIÓN	38
IV.	HIPÓTESIS	40
V.	OBJETIVOS	41
	5.1 Objetivo general.....	41
	5.2 Objetivos específicos	41
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	42
	6.1 Área de estudio.....	42
	6.2 Animales y tratamientos.....	42
	6.3 Alimentación y manejo.....	42
	6.4 Ordeña y toma de muestras	44
	6.5 Análisis de datos.....	45
	6.5.1 Determinación del tamaño de muestra.....	45
	6.5.2 Análisis estadístico.....	47
VII.	RESULTADOS	48
VIII.	DISCUSIÓN.....	53
IX.	CONCLUSIONES	57
X.	IMPLICACIONES	58
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
XII.	ANEXOS	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Algunas unidades de producción lechera que establecieron la asociación “Productores de Leche y Derivados de Oveja S.A de C.V”.....	15
Cuadro 2. Composición físico- química de la leche ovina y otras especies.	17
Cuadro 3. Frecuencia fenotípica de genotipos de caseína α -s-1-CN en leche de 356 ovejas lecheras de raza Sarda.....	19
Cuadro 4. Efecto de la etapa de lactancia en la composición físico- química de la leche de ovejas rambouillet bajo manejo intensivo.	24
Cuadro 5. Requerimientos Diarios de MS, EM, PC, Ca y P para ovinos en diferentes etapas fisiológicas1.3.1 Relación F: C.	28
Cuadro 6. Composición nutrimental de la dieta basal suministrada a ovejas.	43
Cuadro 7. Efecto de la suplementación de RPMet sobre la producción y composición química de la leche de oveja.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de leche entera de oveja en el mundo del 2000 al 2020. ...	12
Figura 2. Distribución de la producción de leche, entera fresca de oveja, por país del 2018 al 2020.....	13
Figura 3. Proporción de producción de leche entera de oveja a nivel mundial del 2015 al 2020.....	14
Figura 4. Producción de leche entera de oveja en México del año 2000 al 2020. 15	
Figura 5. Composición media de la leche de oveja (Apumayta López & De La Cruz Huamaní, 2021).....	16
Figura 6. Factores que afectan la producción y composición de la leche ovina (Adaptado de Buseti, 2006).....	22
Figura 7. Curva de lactación en ovinos (Rodríguez Palacios, 2013).	24
Figura 8. Estructura general de los AA (Gutiérrez Olvera, 2014).	32
Figura 9. Degradación de la metionina hasta succinil CoA (Carbonero, 1976). ...	34
Figura 10. Esquema del periodo experimental.	44
Figura 11. Relación entre la potencia y el número de réplicas del experimento planteado.....	46
Figura 12. Efecto de la suplementación con Mepron® sobre la producción láctea de ovejas.....	50
Figura 13. Gráfico del valor P de la interacción del tratamiento: días de experimentación para evaluar el efecto de la suplementación con Mepron® sobre la producción láctea de ovejas.	50
Figura 14. Efecto de la suplementación de Mepron® sobre el rendimiento de proteína (g/día). El rendimiento de proteína fue afectado por el tratamiento ($p = 0.04$) y por el día de experimentación ($p = 0.0001$).	51
Figura 15. Efecto de la suplementación de Mepron® sobre el rendimiento de SNGL (g/día) de ovejas. Producción de SNGL fue afectada por el tratamiento ($p = 0.03$) y por el día de experimentación ($p = 0.0001$).	52

RESUMEN

Es posible mejorar la producción y calidad de la leche con el uso de aminoácidos protegidos a fin de cubrir las necesidades de proteína metabolizable para ovejas. El objetivo fue evaluar la adición de metionina protegida en la dieta sobre la producción y la composición química de la leche de oveja. Se utilizaron 20 ovejas cruza (East Friesian X Pelibuey), distribuidas en los siguientes tratamientos: C= sin metionina suplementada, M3= 3g de DL-metionina/ animal/ día y, M6= 6g de DL-metionina/ animal/ día. El periodo de suplementación fue de 120 días desde el inicio de la lactancia. Quincenalmente, se registró de manera individual la producción de leche y se realizó el análisis químico de la leche con un analizador de ultrasonido. Los datos del desempeño de producción láctea y composición química se analizaron con un modelo mixto con medidas repetidas en el tiempo. Se dictó significación cuando el valor de p fue inferior a 0.05. En el caso de rechazar la hipótesis nula, se realizaron comparaciones post-hoc (prueba de Tukey). La producción de leche fue incrementada por el tratamiento con un efecto lineal ($p = 0.05$). El uso de 6g de metionina protegida aumento el rendimiento de proteína ($p = 0.04$), lactosa ($p = 0.02$) y sólidos no grasos ($p = 0.03$) en la leche. Estos resultados denotan factible y útil la inclusión de metionina dentro de la alimentación de ovejas lecheras debido a un mejor aprovechamiento de nutrientes, la cual está asociada con una mejor síntesis de proteínas en la leche y disponibilidad de nutrientes, esto es particularmente útil en regiones con una industria ovina lechera incipiente.

Palabras clave: Aminoácidos protegidos, ovinos, producción de leche, proteína no degradable en el rumen.

ABSTRACT

It is possible to improve milk production and quality with the use of protected amino acids to meet metabolizable protein requirements for ewes. The objective was to evaluate the addition of protected methionine in the diet on the production and chemical composition of ewe's milk. Twenty crossbred ewes (East Friesian X Pelibuey) were used, distributed in the following treatments C=no methionine supplemented, M3=3g Mepron® (DL-methionine)/animal/day and, M6= 6g Mepron® (DL-methionine)/animal/day. The supplementation period was 120 days from the beginning of lactation. On a biweekly basis, milk production was recorded individually and chemical analysis of the milk was performed with an ultrasound analyzer. Milk production performance and chemical composition data were analyzed with a mixed model with repeated measures over time. Significance was dictated when the p value was less than 0.05. In the case of rejecting the null hypothesis, post-hoc comparisons were performed (Tukey test). Milk production was increased by treatment with a linear effect ($p = 0.05$). The use of 6g of protected methionine increased the yield of protein ($p = 0.04$), lactose ($p = 0.02$) and non-fat solids ($p = 0.03$) in milk. These results denote feasible and useful inclusion of methionine in dairy sheep feed due to improved feed efficiency, which is associated with improved milk protein synthesis and nutrient availability, particularly useful in regions with an incipient sheep dairy industry.

Keywords: protected amino acids, ovine, milk yield, rumen undegradable protein.

I. INTRODUCCIÓN

En términos económicos, los sistemas de producción de leche ovina tienen menor impacto en el consumidor al ser comparados con sistemas de producción de carne o de lana. En el mismo sentido, los niveles de producción de leche de oveja son inferiores comparados con otros rumiantes domésticos. Sin embargo, el contenido nutricional y rendimiento quesero de la leche ovina son superiores (Ángeles Hernández, 2012), lo cual convierte a la leche ovina en una excelente opción como fuente de nutrientes y favorece su transformación en derivados lácteos de elevado valor nutricional y por lo tanto económico.

La producción de leche de oveja es afectada por factores genéticos, fisiológicos, ambientales y de manejo. Estos factores en conjunto son determinantes para una buena producción y composición láctea (Blanco, 1999). Es posible mejorar la producción y calidad de leche mediante estrategias nutricionales basadas en la maximización de la síntesis de proteína microbiana y/o el uso de aminoácidos (AA) protegidos con el fin de cubrir las necesidades proteicas (Cardo, 2020).

La determinación de los niveles adecuados de AA limitantes para la producción láctea en las raciones alimenticias permiten disminuir la eliminación de nitrógeno vía renal, además de mejorar la cantidad de energía disponible para la producción de leche (Duque Quintero, 2015). Estudios previos revelan que la metionina es un AA limitante en la producción de leche. La principal fuente de este AA en la alimentación se obtiene de la proteína microbiana que llega al intestino; sin embargo, en animales con altas demandas productivas el flujo de nutrientes es insuficiente para cubrir las requerimientos nutricionales (Cardo, 2020; Lorenzana Moreno, 2021; Romero & Bravo, 2012).

Se sugiere que los AA usados en la alimentación de rumiantes tienen que suministrarse de manera protegida, esto se debe a que son desaminados en el proceso de degradación bacteriana ruminal, de esta forma los AA protegidos llegan hasta el intestino delgado donde se lleva a cabo su absorción (Duque Quintero et al., 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de la suplementación de diferentes niveles de metionina protegida en raciones alimenticias de ovejas cruce sobre la producción y composición química de la leche.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Situación de la producción de leche ovina en México y el mundo.

A nivel mundial, la crianza de los ovinos se ha enfocado principalmente a la producción de carne y lana. Por su parte, la producción de leche ovina no ha tenido auge, representando un nicho de oportunidades para la producción y comercialización de la leche en forma fluida y subproductos lácteos de alto valor económico y nutricional (Hernández-Marín, 2017).

2.1.1 Situación mundial.

Mundialmente la producción de leche ovina representa alrededor de 1.3% de la producción lechera de las especies domésticas con 9.2 millones de toneladas (Figura 1). Los sistemas de producción de leche ovina están principalmente ubicados en la región en la cual converge la cuenca del mar mediterráneo con Asia, Medio Oriente y el norte de África (Figura 2 y 3).

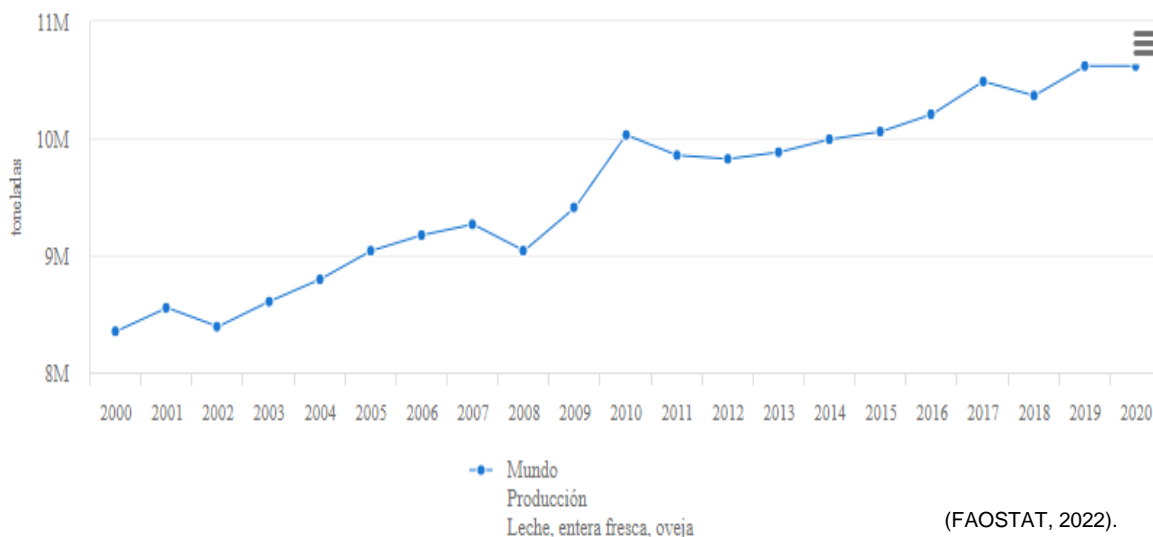


Figura 1. Producción de leche entera de oveja en el mundo del 2000 al 2020.

La cuenca mediterránea es la principal productora, generando más de la mitad de la leche ovina a nivel global. En países europeos como Grecia o Italia se ha desarrollado una amplia tradición en la producción y consumo de derivados lácteos ovinos de alto valor económico como el queso, aunque al analizar esta actividad a nivel mundial encontramos sectores insatisfechos en la demanda de productos lácteos por falta de suministro de la materia prima, esto da lugar un sector en pleno crecimiento y con oportunidades de desarrollo y mercado sin explotar (Pérez Rocha, 2010; Rodríguez Palacios, 2013).

En países con áreas rurales pobres como Pakistán, India y Arabia Saudita, la leche fluida de oveja es usada para autoconsumo. Se resalta que sus sistemas de producción se ubican en entornos marginales con escasas fuentes de alimentación y condiciones climáticas adversas, los cuales tienen bajo costo de inversión de capital y mano de obra (FAO, 2022; García-Díaz et al., 2012).

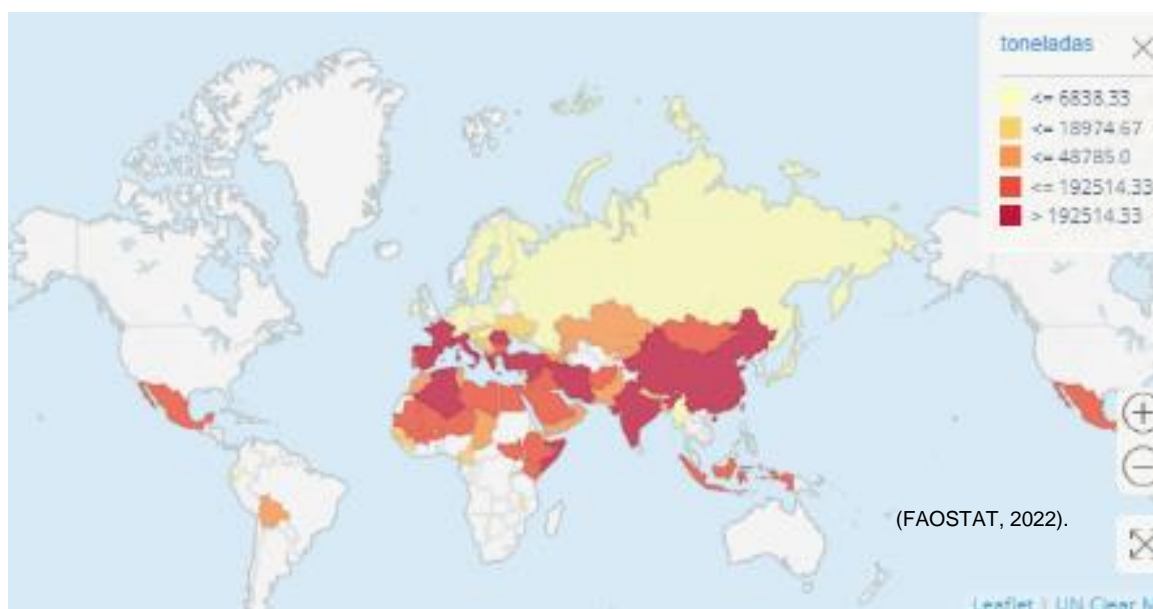
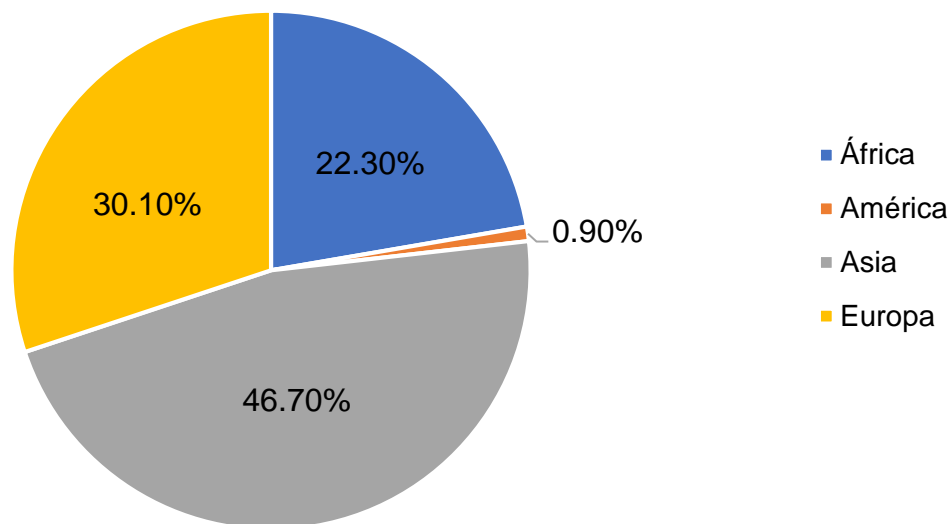


Figura 2. Distribución de la producción de leche, entera fresca de oveja, por país del 2018 al 2020.



(FAOSTAT, 2022).

Figura 3. Proporción de producción de leche entera de oveja a nivel mundial del 2015 al 2020.

2.1.2 Producción de leche de oveja en México

De la misma forma en que la producción de leche ovina no representa la principal actividad económica de los ovinos en el mundo, en México esta aptitud productiva es incipiente. Además, dentro de las producciones existentes se destaca la carencia de infraestructura para llevar a cabo una producción con mayor grado de industrialización (Ángeles Hernández, 2012).

En México, para el año 2006 la población estimada de ovejas enfocadas a fines lecheros era de 2,000 animales, creciendo esta cifra a 6,000 animales para el año 2011. Algunas unidades de producción se han empezado a diversificar, ordeñando razas cárnicas y modificado el rebaño con razas específicas que poseen aptitud lechera y sus cruza, orientadas hacia la elaboración de quesos, esta diversificación hacia la producción de leche de oveja ha generado áreas de oportunidad de producción y comercialización de los ovinocultores mexicanos (Figura 4) (Ángeles Hernández, 2017; Rodríguez Palacios, 2013).

Durante el 2011, en el estado de Querétaro se estableció la primer asociación de ovejas lecheras llamada “Productores de Leche y Derivados de Oveja S.A de C.V” la cual unió a 13 productores (11 productores de Querétaro, 1 de Guanajuato y otro

más de Hidalgo) e integró la marca colectiva “Del Rebaño” (Cuadro 1) (Ángeles Hernández, 2012; Rodríguez Palacios, 2013).

Cuadro 1. Algunas unidades de producción lechera que establecieron la asociación “Productores de Leche y Derivados de Oveja S.A de C.V”.

Nombre	Ubicación
Rancho Santa Marina	Querétaro
Rancho San Josemaría	Querétaro
Quesos del Rebaño	Querétaro
Rancho San Francisco de Mariana	Querétaro
Escuela de Pastores	Estado de México
Rancho Tierra Nueva	Puebla

(Ángeles Hernández, 2012)

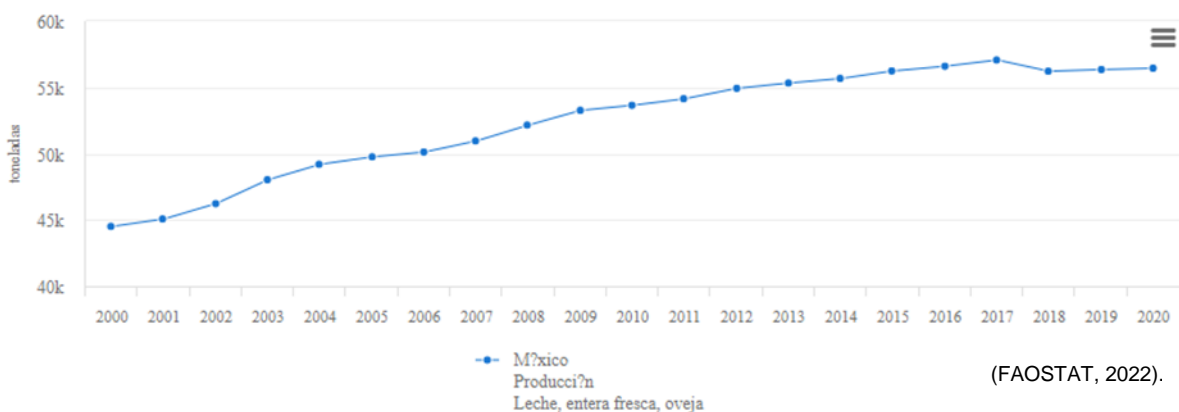


Figura 4. Producción de leche entera de oveja en México del año 2000 al 2020.

2.2 La Leche de oveja y su composición química.

La leche es un conjunto de sustancias secretadas por la glándula mamaria, que se encuentran en suspensión o emulsión en el agua. Las grasas y vitaminas liposolubles se encuentran como emulsión; proteínas y minerales están ligados a micelas de caseína en forma de suspensión y los carbohidratos (lactosa), nitrógeno no proteico y vitaminas hidrosolubles se encuentran en solución (Fox et al., 2000).

Particularmente, la leche ovina tiene un elevado porcentaje sólidos totales, grasa y proteína, en comparación con la leche de bovino y caprino, lo cual le otorga ventajas con relación a su capacidad de transformación en derivados lácteos como queso o yogurt (Figura 5 y cuadro 2) (Ángeles Hernández, 2012; Apumayta López y De La Cruz Huamaní, 2021).

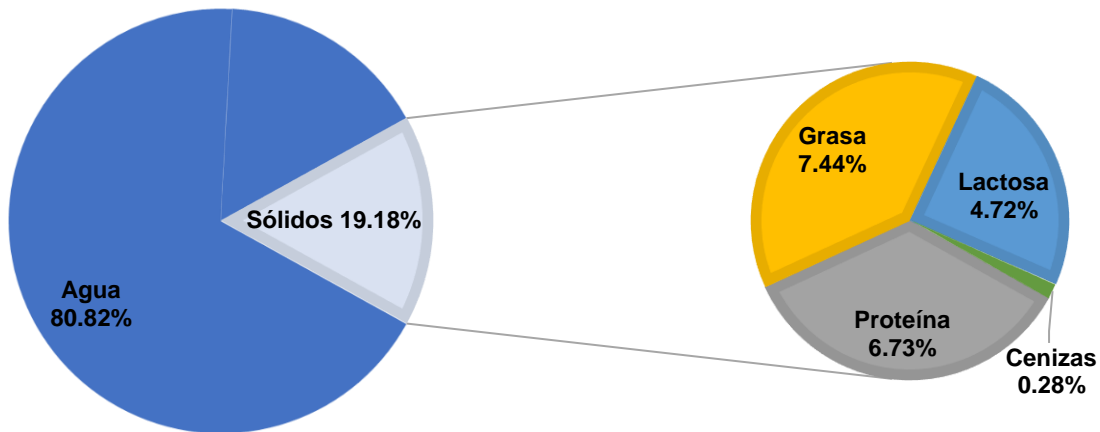


Figura 5. Composición media de la leche de oveja (Apumayta López & De La Cruz Huamaní, 2021).

Cuadro 2. Composición físico- química de la leche ovina comparada con otras especies.

Composición	Oveja	Cabra	Vaca	Humano
Sólidos Totales (%)	18.40	13.00	12.50	12.50
Grasa (%)	7.09	3.80	3.67	3.67-4.70
Glóbulo de Grasa (μm)	4.01	3.90	4.40	-
Sólidos no grasos (%)	10.33	8.68	9.02	8.90
Lactosa (%)	4.30-4.80	2.50-3.30	4.20-5.00	6.40-7.00
Proteína (%)	6.21	2.90	3.23	1.10
Caseína (%)	5.16	2.47	2.63	0.40
Albúmina, globulina (%)	1.00	0.60	0.60	0.70
Nitrógeno no proteico (%)	0.80	0.40	0.20	0.50
Calorías/ 100ml	113	77	73	73
Vitamina A (IU g/grasa)	25	39	21	32
Vitamina D (IU g/grasa)	0.70	-	0.70	0.27
Vitamina E (mg/100g)	0.11	0.04	0.11	0.23
Vitamina C (mg/100ml)	43	20	2	3.5
Vitamina B1 (mg/100ml)	7	68	45	17
Vitamina B2 (mg/100g)	0.35	0.14	0.17	0.03
Vitamina B3 (mg/100g)	0.42	0.20	0.09	0.16
Vitamina B6 (mg/100g)	0.08	0.05	0.04	0.01
Vitamina B12 (mg/100ml)	36	210	159	26
Minerales (%)	0.92	0.80	0.72	0.30
Calcio (%)	0.16	0.19	0.18	0.04
Fósforo (%)	0.14	0.27	0.23	0.06
Cloro (%)	0.27	0.15	0.10	0.06
Sodio (%)	0.04	0.03	0.04	0.02
Potasio (%)	0.19	0.13	0.15	0.055
Selenio ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	31	20	30	20

(Apumayta López y De La Cruz Huamaní, 2021; Berger et al., 2004; Jandal, 1996; Neville y Jensen, 1995; Park et al., 2007; Pulina y Bencini, 2004; Raynal-Ljutovac et al., 2005)

2.2.1 Composición de la grasa en la leche de ovejas

El contenido graso de la leche es el componente más importante en términos de costos de producción, nutrición, características físicas y sensoriales de los productos lácteos; además, es el componente con la mayor variación cuantitativa y cualitativa relacionada con la etapa de lactación, época del año, factores alimenticios y genéticos (Park et al., 2007; Ramos y Juárez, 2011; Raynal-Ljutovac et al., 2005).

El color de la grasa de leche de oveja es blanco (debido a la ausencia de carotenos). El diámetro medio de los glóbulos grasos es netamente menor (3.30μ) que en caso de la vaca (4.55μ), aunque similar al de la cabra (3.49μ) (UCO, 2002). La composición global de materia grasa en rumiantes presenta tres tipos de sustancias: triglicéridos (98.0%), fosfolípidos (0.5%) y otras sustancias liposolubles (1.0%) (Sampelayo et al., 2003; UCO, 2002).

Los triglicéridos de la leche están constituidos por ácidos grasos esterificados, son 5 los ácidos grasos más importantes en términos cuantitativos ($C_{16:0}$, $C_{18:1}$, $C_{10:0}$, $C_{14:0}$ y $C_{18:0}$) que constituyen más del 75% de los ácidos grasos en la leche de oveja. Los ácidos grasos se asocian con características como el sabor del queso o también pueden usarse para detectar la mezcla de leche de varias especies (Ángeles Hernández, 2012).

El contenido de ácidos grasos de cadena media de la leche ovina es mayor a 30%; éstos AG son importantes en algunas enfermedades metabólicas como malabsorción, insuficiencia pancreática, fibrosis quística del páncreas, pancreatomelectomía, etc. (Sampelayo et al., 2003).

2.2.2 Proteínas

Las proteínas más importantes para la fabricación de productos lácteos son las caseínas (proteínas coagulables que determinan rendimientos de fabricación y calidad tecnológica de la leche), hacen parte del 78-83% de las proteínas totales.

La leche ovina cuenta con cuatro tipos de caseínas: α -s-1, α -s-2, β , k (Fox et al., 2000).

La heterogeneidad de las caseínas se determina por variaciones genéticas y factores como el nivel de polimorfismo (Cuadro 3), variación en la extensión de glucosilación de fracción k y la coexistencia de proteínas con diferente longitud de cadena. Este polimorfismo produce cambios en la composición de la leche entre ovejas y razas, la frecuencia de alelos de α -s-1 en cada raza determina indirectamente la cantidad de proteínas en leche y modifica características de la leche como hidratación, gelificación, emulsificación, coagulación, digestión, etc. (Ángeles Hernández, 2012; Blanco, 1999).

Además, existen las proteínas séricas las cuales constituyen 17-22% de las proteínas totales, la mayor parte de estas son α -lactoalbúmina y β -lactoglobulinas, y en menor proporción inmunoglobulinas, albúmina sérica, lactoferrinas proteasa-peptonas y algunas otras (Fox et al., 2000)-

Cuadro 3. Frecuencia fenotípica de genotipos de caseína α -s-1-CN en leche de 356 ovejas lecheras de raza Sarda.

Genotipo	Frecuencia fenotípica (%)
AA	2
AC	8
AF	2
FF	1
BB	5
CC	22
DD	15
BC	25
CD	20

(Pirisi et al., 1999)

2.2.3 Carbohidratos

La lactosa constituye el 49% del total de azúcares en leche, también es un componente mayoritario del extracto seco total (22-27%), su valor medio en leche de oveja es alrededor de 4.44%, y su intervalo de variación oscila entre el 3.70 y el 5.01%. La lactosa es un disacárido compuesto por glucosa y galactosa unidos por un enlace glucosídico β 1-4 la cual es sintetizada en la glándula mamaria por acción activa de proteína láctea α - lactoalbúmina. La lactosa mantiene el equilibrio osmótico entre el torrente sanguíneo y las células alveolares de la glándula mamaria durante la síntesis de leche y su secreción al lumen alveolar. De igual manera, la lactosa favorece la absorción intestinal de Ca, Mg, P y el uso de vitamina D (Ángeles Hernández, 2012; Bedolla Cedeño et al., 2021; UCO, 2002).

Existen otros carbohidratos en la leche como glucopéptidos, glicoproteínas, oligosacáridos (protectores de las células de mucosa intestinal contra patógenos y promoción de flora intestinal en recién nacidos) y nucleótidos (Park et al., 2007; Ramos y Juárez, 2011; Wendorff y Haenlein, 2017).

2.2.4 Minerales

La leche ovina contiene alrededor de 0.92% de minerales o cenizas (en caprinos es alrededor de 0.80% y bovinos 0.72%), las sales se encuentran en la leche disueltas (moléculas- iones) y en estado coloidal. La mayoría son de tipo mineral (fosfato de calcio), aunque también existen sales de tipo orgánico cuya fracción aniónica suele ser el citrato, siendo el catión siempre de origen mineral. El contenido de hierro, selenio y cobre en la leche de oveja es bajo dando origen a ciertas enfermedades en el cordero lactante (anemia ferropénica, miodistrofia y ataxia enzoótica, respectivamente). Los elementos más abundantes en la leche ovina son Ca, P, K, Na y Mg.(Ángeles Hernández, 2012; Sampelayo et al., 2003)

El P y el Ca son importantes en el mantenimiento de la estabilidad y estado físico de las proteínas de la leche al estar asociados a la micela de caseína. La fracción coloidal de las sales de Ca y P es la más abundante en la leche de oveja,

representando entre el 75-91% del calcio total y entre el 61-70% del fósforo total (Sampelayo et al., 2003).

2.2.5 Vitaminas

Las vitaminas son micronutrientes necesarios para la transformación de los alimentos en energía, su composición ha sido poco estudiada en la leche ovina; este tipo de leche a comparación de otras leches de mamíferos cuenta con una mayor cantidad (mejor transformación en subproductos lácteos) de vitamina A, tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3) y ácido pantoténico (B5), y posee un déficit de vitamina C, D, piridoxina (B6), cianocobalamina (B12) y ácido fólico (B9) (Cuadro 2) (Ángeles Hernández, 2012; Sampelayo et al., 2003)

2.3 Factores que afectan la producción y composición de la leche ovina

La calidad nutricional de la leche reside en el contenido de proteína, lípidos, vitaminas y minerales que tiene. Así su composición es determinada principalmente por tres clases de factores: primero son los factores genéticos; seguido de los factores fisiológicos, que en conjunto dependen del animal y no pueden ser modificados fácilmente; por último, los factores ambientales que pueden modificarse mediante prácticas de manejo (acción del hombre) (Figura 6) (FAO, 2022; Sampelayo et al., 2003).

2.3.1 Factores genéticos

Normalmente en ovejas pesadas hay tendencia a una mejor producción que las ovejas ligeras, esto debido al mayor tamaño corporal, mayor capacidad de ingesta de alimento y mayor capacidad fisiológica de producción láctea. Además, el genotipo de la oveja puede afectar las propiedades queseras de la leche, por las variantes para las fracciones de caseína genéticamente determinadas. Variaciones en la α -1 caseína producen una reducción del contenido de caseína y una alteración en el proceso de elaboración (Busetti, 2006; Pérez Rocha, 2010).

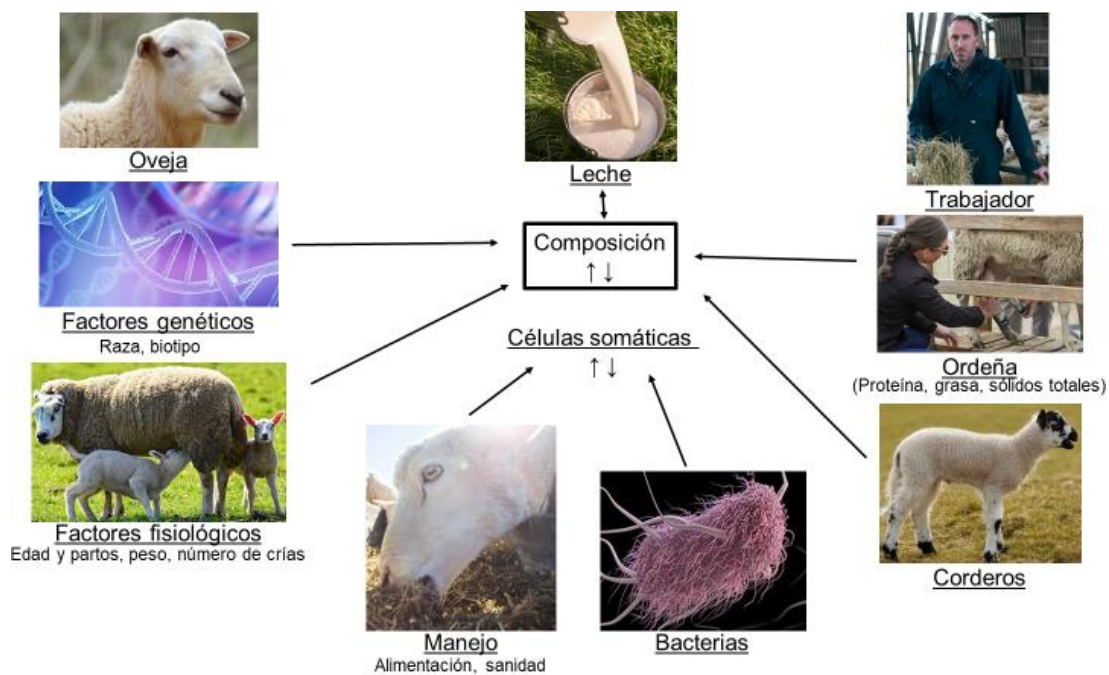


Figura 6. Factores que afectan la producción y composición de la leche ovina (Adaptado de Busetti, 2006).

2.3.2 Factores fisiológicos

Son aquellos factores que se encuentran relacionados al organismo animal tales como la edad, número de parto, fase de lactación, número de corderos nacidos y destetados, etc (Busetti, 2006).

2.3.2.1 Edad del animal y número de parto

La edad animal se expresa normalmente en número de parto o de lactación, el primer parto de la oveja idealmente debe ocurrir a los dos años de edad. Animales muy jóvenes producen menos leche, tienen un rendimiento menor de 20-40%. Habitualmente la producción de leche tiene un comportamiento cuadrático en relación a la edad, la máxima producción se da entre la tercera y cuarta lactación, luego de la cual la producción va decreciendo. Se dice que la cuarta lactación es alrededor de 20-40% superior a la primera (dependiendo la raza) (Busetti, 2006; Rodríguez Palacios, 2013).

Con el aumento en el número de lactaciones también aumenta el contenido de grasa, proteína y células somáticas. Después de la sexta lactación la producción disminuye, debido a la disminución del rendimiento de lactosa. Este proceso está influenciado por la nutrición, manejo, persistencia de los dientes, condición de pezuñas, estrés y la edad al primer parto (Blanco, 1999; Ganzábal y Montossi, 1991; Rodríguez Palacios, 2013).

2.3.2.2 Fase de lactación

La curva de lactación es una representación gráfica de la producción de leche en el tiempo durante una lactancia la cual está definida por características como: producción inicial, producción máxima, producción total, tiempo total de producción y persistencia (grado en que se mantiene la producción máxima de leche con respecto al tiempo) (Figura 7) (Apumayta López y De La Cruz Huamaní, 2021; Buseti, 2006; Merchant et al., 2021; Zabala Sandoval, 2012).

La curva de lactancia en ovinos es asimétrica, partiendo de una producción ascendente al parto hasta alcanzar a las pocas semanas su máxima producción. El pico de producción ocurre entre la tercera y quinta semana y posteriormente la producción disminuye hasta el secado. La velocidad de la fase de descenso dependerá de la raza y del potencial productivo individual (Busetti, 2006; Merchant et al., 2021; Zabala Sandoval, 2012).

De la misma forma como la producción de leche cambia durante la lactancia, la composición varía a través del tiempo. Siendo que a medida que disminuye la producción la lactosa se disminuye el efecto de dilución generado por la cantidad de leche producida, y todos los componentes (grasa, proteínas, minerales y sólidos totales) aumentan su concentración (Cuadro 4) (Busetti, 2006).

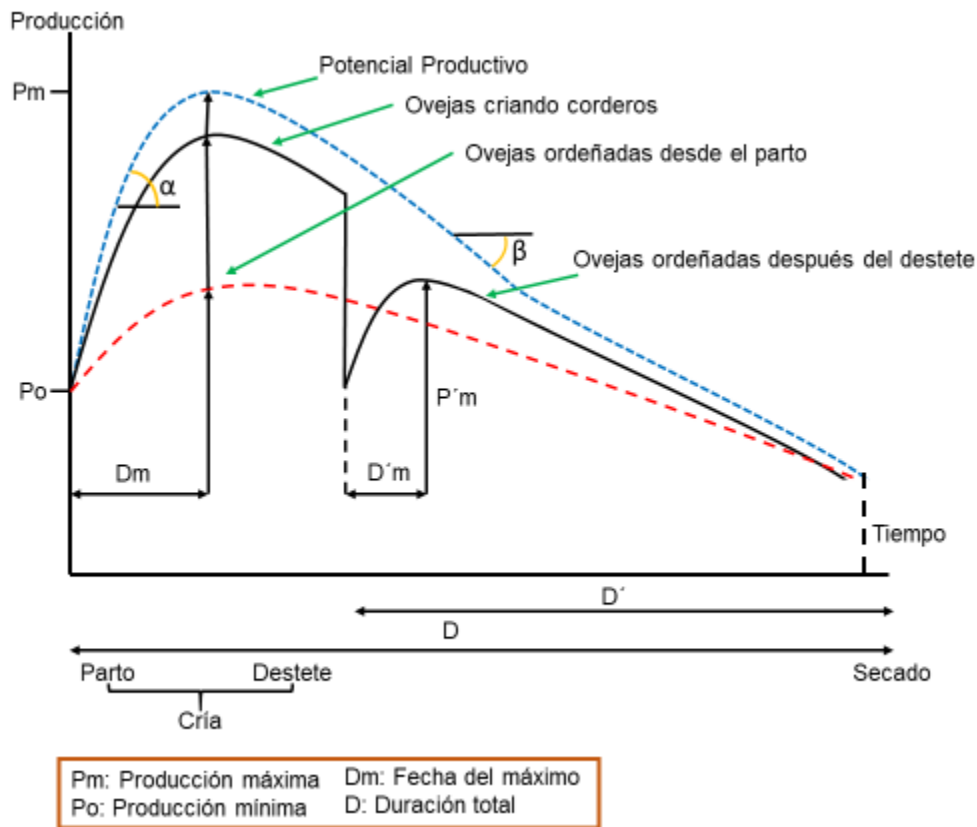


Figura 7. Curva de lactación en ovinos (Rodríguez Palacios, 2013).

Cuadro 4. Efecto de la etapa de lactancia en la composición físico-química de la leche de ovejas Rambouillet bajo manejo intensivo.

Item	Semanas				
	1	3	6	8	12
Proteína (%)	5.37 ± 0.51 ^{bc}	5.17 ± 0.41 ^{ab}	5.08 ± 0.35 ^a	5.19 ± 0.41 ^{abc}	5.43 ± 0.51 ^c
Sólidos Totales (%)	16.03 ± 1.17 ^a	15.63 ± 1.44 ^a	15.86 ± 1.54 ^a	17.46 ± 2.30 ^b	19.49 ± 1.24 ^c
Grasa (%)	4.82 ± 1.23 ^a	4.86 ± 1.51 ^a	4.77 ± 1.54 ^a	6.24 ± 2.16 ^b	8.42 ± 0.94 ^c
Lactosa (%)	4.56 ± 0.25 ^a	4.66 ± 0.36 ^a	4.65 ± 0.32 ^a	4.63 ± 0.37 ^a	4.19 ± 0.19 ^b
Cenizas (%)	0.94 ± 0.05 ^a	0.93 ± 0.08 ^{ab}	0.91 ± 0.07 ^{ab}	0.91 ± 0.06 ^{ab}	0.90 ± 0.07 ^b
Densidad	1.037	1.037	1.038	1.036	1.035
	±2.4 × 10 ^{-3ab}	±2.0 × 10 ^{-3ab}	±8.0 × 10 ^{-3a}	±2.6 × 10 ^{-3b}	±6.2 × 10 ^{-3c}
pH	6.72 ± 0.17 ^a	6.62 ± 0.49 ^a	6.60 ± 0.22 ^a	6.68 ± 0.10 ^a	6.67 ± 0.21 ^a

^{abc}Valores dentro de las líneas con diferente letra tienen diferencias significativas (p < 0.05). (Ochoa Alfaro et al., 2009).

2.3.2.3 Número de corderos nacidos y destetados

Ovejas con mellizos producen 46% más de leche que aquellas con un solo cordero; durante el amamantamiento la mayor producción de leche está dada por el instinto materno y la frecuencia en que se alimenta el cordero. En gestaciones dobles o triples hay un mayor desarrollo placentario, lo cual conlleva a una mayor producción de esteroides ováricos y otras hormonas placentarias, esto nos da como resultado un desarrollo mayor de las estructuras mamarias y por ende un incremento productivo durante la lactación (Rodríguez Palacios, 2013).

2.3.3 Factores ambientales o de manejo

Los factores ambientales o de manejo tienen el mismo nivel de importancia que los factores genéticos y fisiológicos, estos factores son aquellos factores relacionados con las instalaciones de la unidad de producción, condiciones agroecológicas (nivel de precipitación anual, temperatura mínima y máxima promedio, velocidad del viento, etc.), prácticas de los trabajadores (manejo de ordeño, trato a los animales, etc.), limpieza, nutrición, etc (Buseti, 2006).

2.3.3.1 Manejo de ordeño

Intervalos entre ordeños, frecuencia de ordeño y el ordeño completo sin leche residual, incrementan producción diaria y total de leche por remoción del efecto inhibidor de la leche acumulada en tejido alveolar de la glándula mamaria. Además, investigaciones permitieron establecer un mecanismo local de las células glandulares en el que el nivel de secreción de leche es controlado por un factor de inhibición de la lactación (FIL), presente en una fracción de las proteínas del suero de la leche (Buseti, 2006). Debido a esto, la supresión de un día de ordeño en la semana en ovejas reduce aproximadamente en un 25% el volumen, recuperándolo a los tres días posterior a la supresión (Blanco, 1999; Buseti, 2006).

2.3.3.2 Tipo de destete

El método de destete afecta la composición de la leche como así también la capacidad de retener la grasa láctea. El destete temprano de corderos puede afectar la calidad quesera de leche, debido a que la oxitocina y prolactina (normalmente previene la involución mamaria), disminuyen porque los corderos son destetados tempranamente, lo cual resulta en un aumento del plasminógeno, involucrando la síntesis de caseína con acción directa sobre la consistencia final del coágulo (Bedolla Cedeño et al., 2021; Busetti, 2006).

2.3.4 Sanidad

La salud del animal en conjunto y la de glándula mamaria en particular afecta la cantidad y calidad de leche producida. La mastitis es la inflamación de la glándula mamaria, patología que más afecta la producción láctea; su presencia está influenciada por el medio y/o el animal (Busetti, 2006).

Con la presencia de mastitis hay disminución en la producción lechera, debido a una reducción en la capacidad secretora de la glándula. Se producen cambios cualitativos en la composición por aumento de permeabilidad del epitelio mamario que causa pasaje de componentes de la sangre hacia la leche (Bedolla Cedeño et al., 2021). Asimismo, hay reducción en la concentración de grasa, caseína, sólidos totales, potasio, fósforo, ácido cítrico y magnesio; aumento del nitrógeno total, nitrógeno no proteico, proteínas en suero, cloro y pH (Busetti, 2006).

2.3.5 Factores Nutricionales

El manejo nutricional afecta la calidad y cantidad de la leche producida, además de su capacidad de transformación en derivados lácteos. Dentro de la producción de leche en las ovejas el último tercio de gestación y la lactancia son etapas que requieren una cantidad importante de nutrientes (utilización de reservas corporales; Rodríguez Palacios, 2013).

El apetito de la oveja aumenta durante la lactancia (20-50% las primeras dos semanas) debido a la liberación de la compresión física que realiza la gestación sobre el rumen; aun así, esto no es suficiente para atender las demandas energéticas y ocurre el consumo de reservas corporales (25-30% de la demanda energética para la producción de leche durante la lactancia; Pérez Rocha, 2010). Por otra parte, hacia el último tercio de la gestación ocurre el 75% del crecimiento fetal, como consecuencia hay una reducción en la capacidad ruminal debido a una compresión física. De esta manera, es necesario aumentar la densidad energética de la dieta para evitar el consumo exacerbado de reservas corporales y no afectar la producción láctea (Romero y Bravo., 2012).

2.4 Manipulación nutricional de la producción y composición química de la leche ovina

Una oveja con una nutrición correcta asegura una producción y composición láctea adecuada, además de un buen funcionamiento del sistema endócrino para la reproducción y una menor incidencia de enfermedades. Es necesario utilizar esquemas de sobrealimentación, también llamado flushing (Cuadro 5) para asegurar un bienestar de las ovejas y una producción lechera ideal, ya que la producción lechera llegará a un 75% aproximadamente en las primeras 8 semanas de lactancia (Romero y Bravo, 2012; UCO, 2002).

Dietas que tienen concentraciones altas en fibra detergente neutra (FDN) se asocian con un aumento en la tasa de producción de ácidos grasos volátiles que conducen a un incremento de la concentración de grasa en leche, aunque la ingesta elevada de FDN puede limitar el consumo voluntario lo cual produce una reducción en la disponibilidad de metabolitos para la producción láctea y una disminución de sólidos totales (Ángeles Hernández, 2012; Zabala Sandoval, 2012).

Aumentar el aporte de energía metabolizable (EM) suplementando cereales incrementa el ritmo de producción de proteína microbiana y de propionato en rumen (mayor producción de leche al tener dietas con grandes cantidades de grano), si el porcentaje de concentrado es mayor a 50% de la materia seca en una dieta pueden

existir problemas de acidosis ruminal y una disminución en los contenidos de grasa y proteína en la leche (Buseti, 2006; Rodríguez Palacios, 2013).

Cuadro 5. Requerimientos Diarios de MS, EM, PC, Ca y P para ovinos en diferentes etapas fisiológicas.

PV Kg	GDP g	MS Kg/animal	EM Mcal	PC g	Ca g	P g
Mantenimiento						
50	10	1.0	2.0	95	2.0	1.8
60	10	1.1	2.2	104	2.3	2.1
70	10	1.2	2.4	113	2.5	2.4
Flushing 2 semanas previas y durante el empadre						
50	100	1.6	3.4	150	5.3	2.6
60	100	1.7	3.6	157	5.5	2.9
70	100	1.8	3.8	164	5.7	3.2
Últimas 4 semanas de lactación						
50	180	1.6	3.4	135	5.9	4.8
60	180	1.7	3.6	184	6.0	5.2
70	180	1.8	3.8	193	6.2	5.6
Primeras 6-8 semanas de lactación amamantando un cordero						
50	-25	2.1	4.9	304	8.9	6.1
60	-25	2.3	5.4	319	9.1	6.6
70	-25	2.5	5.9	334	9.3	7.0

*PV: peso vivo. GDP: ganancia diaria de peso. MS: materia seca. EM: energía metabolizable. PC: proteína cruda. Ca: calcio. P: fósforo. (Ganzábal & Montossi, 1991)

La concentración de proteína en leche se correlaciona positivamente con la cantidad de EM consumida por el animal. La respuesta de la concentración de proteína en la leche a los niveles aportados de EM en la dieta se reduce cuando las concentraciones de proteína en la dieta son suficientemente bajas para reducir el efecto de la suplementación energética (Ángeles Hernández, 2012; Ramos y Juárez, 2011).

La suplementación proteica normalmente aumenta la proporción de AA y glucosa relativa, a partir de acetato y cadenas largas de ácidos grasos en la circulación, esto da como resultado un aumento en la síntesis de proteína, lactosa y grasa en la glándula mamaria; consecuentemente, la producción láctea y la concentración de proteínas pueden incrementar, mientras la grasa en la leche disminuye (Ángeles Hernández, 2012; Elhadi et al., 2017).

La suplementación de taninos en dietas de ovejas lecheras tiene importancia debido a su capacidad para formar complejos reversibles con las proteínas. Diversos estudios con el uso de taninos en dietas de rumiantes se han realizado con el objetivo de disminuir la producción de gas metano (CH₄) y aumentar la producción de leche, carne y lana (Cardoso-Gutierrez et al., 2021).

Cantidades moderadas de taninos condensados tienen efectos benéficos sobre el metabolismo de las proteínas en rumiantes, debido a que reducen la degradación de la dieta proteínica en el rumen e incrementan la absorción de AA en el intestino delgado (Cardoso-Gutierrez et al., 2021; Jenko et al., 2018; Martínez-Borraz et al., 2010).

2.5 La metionina como aditivo en la producción de leche ovina

Los aditivos alimenticios nos permiten mejorar la eficiencia de utilización de un alimento, ya sea mejorando la digestibilidad, la fermentación ruminal o alguna otra característica del alimento o del producto final. Los aditivos alimenticios hacen más eficiente el proceso productivo (Corona Gochi, 2016).

Para utilizar algún aditivo en la alimentación de ovinos enfocados a producción de leche debemos tener en cuenta aspectos como:

- Mayor producción de leche;
- Incremento en la concentración de grasa y/o proteína de la leche;
- Mejorar la eficiencia alimenticia, minimización de la pérdida de peso (Hutjens, 2013).

Los AA limitantes para la producción de leche en ovinos son lisina y metionina. Por lo cual, el uso de AA protegidos es una opción interesante para aumentar el flujo

total de AA limitantes (Duque Quintero, 2015; Guevara Muñeton, 2018; Romero y Bravo, 2012). La metionina puede ser producida de forma sintética o puede resultar más rentable obtenerla a través de una fuente vegetal, debido a los costos de producción del país (Lorenzana Moreno, 2021). Además, se administra en forma protegida con el fin de que no sea degradada en rumen (puede estar recubierta con compuestos poliméricos, proteínas formuladas, grasa, mezclas de grasa con proteína, y con sales cálcicas de ácidos grasos de cadena larga (Duque Quintero, 2015).

En el meta-análisis desarrollado por Zanton et al. (2014) se refirió que el rendimiento y la concentración de grasa en la leche se vieron afectados significativamente por la suplementación con metionina ($p < 0.001$), pero también concluyó que el nivel de respuesta depende de las fuentes de metionina. Por lo tanto, la variabilidad entre estudios puede explicarse por factores como la fuente de metionina, el nivel de suplementación, los componentes utilizados para proteger la metionina, el desequilibrio de otros AA y las características de las raciones de alimentación en cada experimento (Lara et al., 2006a; Zanton et al., 2014).

En el meta-análisis desarrollado por León Solís et al. (2021) la suplementación con metionina protegida en pequeños rumiantes tiene un efecto positivo sobre la producción de leche y contenido de grasa. Sin embargo, la respuesta global muestra una considerable variabilidad, por lo cual es importante explorar estas fuentes de heterogeneidad en futuros estudios. De manera similar, Lara et al. (2006) utilizaron metionina protegida para incrementar el flujo de la misma hasta el duodeno, obteniendo mejoras en la producción, grasa y proteína en leche. Südekum et al. (2004) realizaron un experimento con novillos en el cual se suplementaron diferentes marcas de metionina protegida en la dieta experimental y obtuvieron concentraciones constantes de metionina en plasma.

La suplementación con metionina y lisina de sobrepaso en algunos estudios ha mostrado incremento en la producción de leche y en la cantidad de proteína en la leche de vaca. Lara et al. (2006) realizaron un estudio en vacas con diferentes dosis de Mepron® al día/vaca en el cual obtuvieron un incremento en la producción de leche y cantidad de proteína siendo la dosis de 16g/metionina/día/vaca la que

mostro los mejores resultados, esto también confirma los resultados anteriormente realizados por Armentano et al. (1997) y Guinard y Rulquin (1995); además, demuestra que la mayor producción de leche en vacas (raza Holstein) se puede lograr con dosis de 15-16g de metionina al día.

En el estudio de Madsen et al. (2005) se utilizaron cabras en época de lactación temprana y tardía, dicho experimento constaba de 4 dietas con variaciones en los niveles de lisina y de metionina (control, lisina alta- metionina baja, metionina alta-lisina baja y metionina y lisina en niveles altos), en la época de lactación temprana la dieta con niveles altos de metionina y lisina tuvo un efecto positivo en la producción de leche mientras que la dieta de metionina alta y lisina baja afecto negativamente el contenido de grasa; en la época de lactación tardía no se observaron cambios significativos de producción o de composición de la leche con ninguna de las dietas puestas a prueba.

La suplementación de metionina en bovinos lecheros con una dieta con base a ensilado de maíz, pasta de soya y maíz rolado tuvo efectos benéficos en la concentración de grasa en la leche, además de un incremento en la producción de leche durante una lactación temprana, media y total (Ali et al., 2009).

En el estudio realizado en cabras por Flores et al (2009) obtuvieron un comportamiento cuadrático al aumentar la dosis de metionina, siendo la dosis de 2.5 g Mepron® /día por cabra la que obtuvo una mejora en la producción de leche, grasa y energía de la leche. Robinson et al. (2000) en un estudio con hembras multíparas bovinas suministradas con una infusión abomasal de metionina al 140% del requerimiento de absorción intestinal demostraron efectos negativos en la ingesta diaria de materia seca y en la producción lechera de las vacas lactantes (menor producción de proteína y lactosa).

2.5.1 Estructura química de los AA

Los AA son moléculas orgánicas que contienen un grupo amino (NH₂) en uno de los extremos de la molécula y un grupo ácido carboxílico (COOH) en el otro extremo, son las unidades que forman a las proteínas (Figura 8) (Gutiérrez Olvera, 2014).

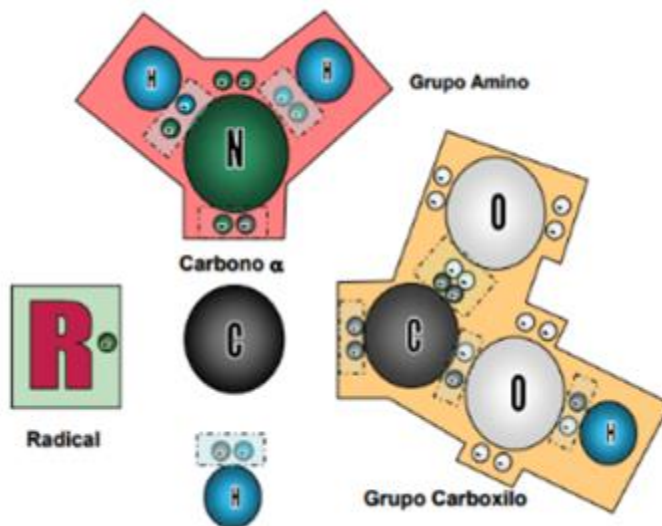


Figura 8. Estructura general de los AA (Gutiérrez Olvera, 2014).

Por lo general, los AA se constituyen por un carbono alfa al cual se unen un grupo funcional amino, uno carboxilo, un hidrógeno y un grupo R o lateral, las diferencias entre AA es debido a la estructura de los grupos R (grupos laterales, residuo o resto de la molécula). Los AA naturales tienen configuración estereoquímica L y los AA sintéticos tienen configuración de una mezcla racémica de isómeros L y D. Existen AA de degradación rápida como arginina y treonina, AA de degradación media como lisina, fenilalanina, leucina e isoleucina, y por último, los AA de degradación lenta como valina y metionina (Ángeles Hernández, 2012; Duque Quintero, 2015; Gutiérrez Olvera, 2014).

2.5.2 Digestión y metabolismo de la metionina

La metionina protegida utilizada en rumiantes escapa de la degradación ruminal llegando al intestino (Ayyat et al., 2019). Dependiendo del tipo de protección con el que este aminoácido está recubierto, existirá acción enzimática o disolución de la capa protectora por efectos del pH, de esta manera la metionina libre es absorbida por los enterocitos y transportados vía sanguínea (Duque Quintero et al., 2017; Guevara, 2018).

La suplementación de metionina protegida incrementa la proporción de AA en la dieta que serán absorbidos por el intestino, la metionina absorbida mejora de manera general el uso del N de la dieta, por lo cual existe un potencial para tener ganancias productivas, mientras que se minimiza el impacto ambiental por medio de modificaciones a la cinética de la urea (Ali et al., 2009).

Dentro del metabolismo de los AA se involucra la transaminación y desaminación, las cuales son reacciones necesarias para el anabolismo y catabolismo de las proteínas. La transaminación se lleva a cabo por aminotransferasas, el grupo $-NH_2$ se transfiere de un AA ácido a un AA cetoácido. Las aminotransferasas se localizan en el citoplasma y mitocondrias, teniendo dos tipos de especificidad:

- I) El tipo de AA que dona el $-NH_2$
- II) El cetoácido que acepta el $-NH_2$. Aunque las enzimas varían dependiendo del tipo del AA que unen, la mayoría usan glutámico (Glu) como donador de $-NH_2$ (Arias Islas et al., 2020).

Estas reacciones requieren del cofactor piridoxal fosfato (PLP). En la desaminación oxidativa los AA pierden el $-NH_2$, reacción catalizada por glutamato deshidrogenasa. Los esqueletos carbonados resultantes se degradan para obtener uno de los siete productos metabólicos posibles: acetil-coenzima A, acetoacetil-coenzima A, $C_3H_3O_3$, cetoglutarato, succinil-coenzima A (producto de la metionina), fumarato u oxaloacetato. El NH_3 resultante de la desaminación de los AA se transporta a los hepatocitos periportales para participar en la ureagénesis (Arias Islas et al., 2020; Golshan et al., 2019).

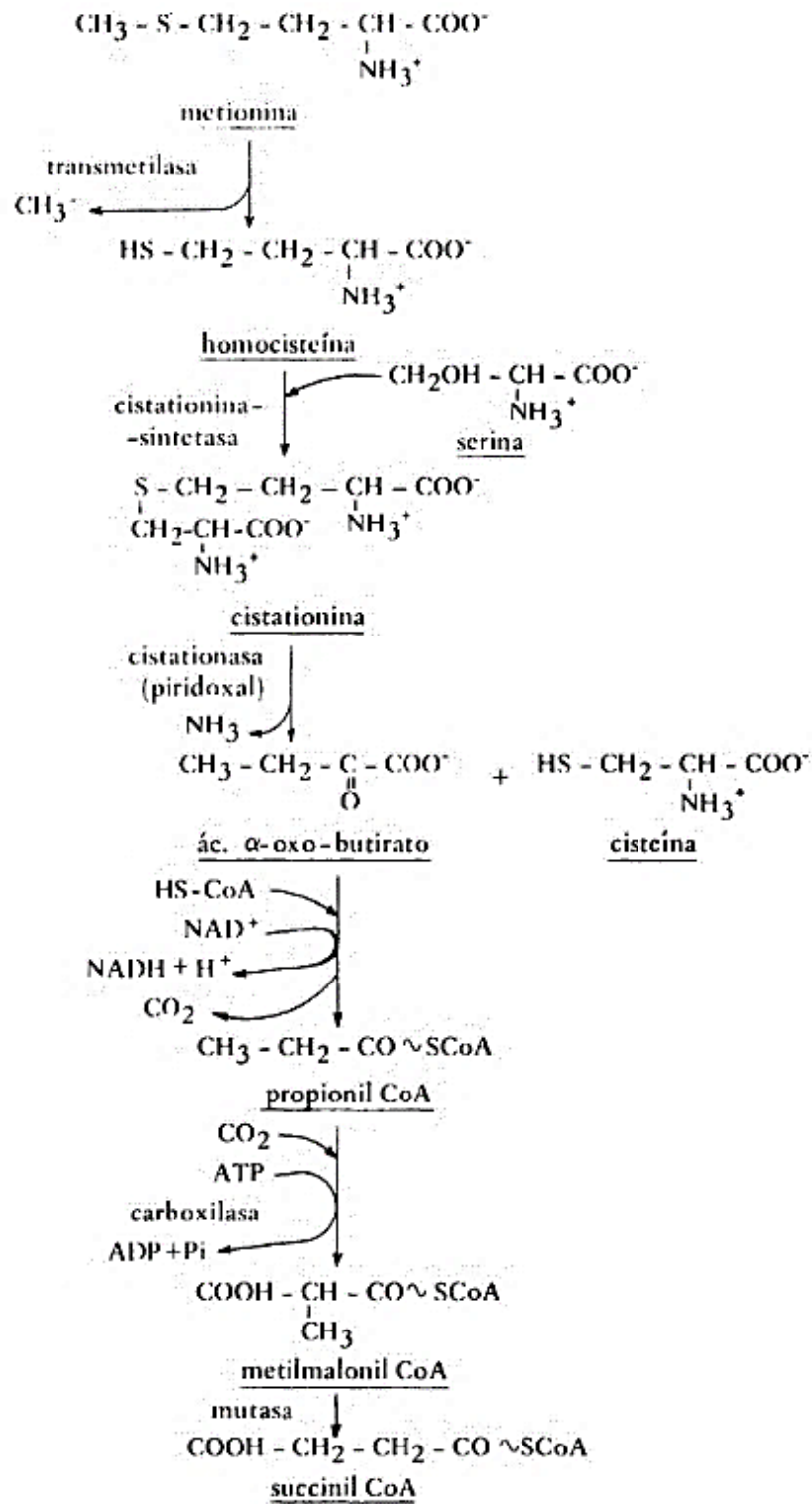


Figura 9. Degradación de la metionina hasta succinil CoA (Carbonero, 1976).

La metionina es un AA esencial, no polar y alifático, azufrado (R con un grupo azufrado), donador de grupos metilo, se relaciona metabólicamente con cisteína. La metionina da lugar a la formación de compuestos intermediarios y es una fuente de azufre en la vía de transulfuración para la síntesis de cisteína (Figura 9) (Carballal Zeballos, 2011).

2.5.3. Rutas metabólicas en las cual participa metionina

2.5.3.1 Síntesis de proteínas

La metionina es necesaria para la síntesis de lactosa y proteínas de la leche, S-adenosín- metionina (AdoMet o SAM) presenta un grupo metilo altamente reactivo en el ion sulfonio, que puede ser transferido en reacciones catalizadas por metilasas a diferentes sustratos aceptores que poseen oxígenos o nitrógenos nucleofílicos, entre ellos la glicina para formar sarcosina, guanidinoacetato para dar creatina, fosfatidiletanolamina para formar fosfatidilcolina (Carballal Zeballos, 2011).

2.5.3.2 Metilación

La metionina constituye el punto de partida para la síntesis de AdoMet, un agente de metilación de gran relevancia biológica que puede proporcionar grupos metilo para la síntesis de colina (vía Adomet), la colina puede ser oxidada a betaína, con transferencia de metilo desde la homocisteína y luego metionina (Ardalan et al., 2011; Zeisel y da Costa, 2009).

La colina es una base de amonio cuaternaria derivada de la etanolamina por metilación de Adomet, la colina aumenta el glucógeno hepático y las vías de transaminación de metionina promueven la activación del coactivador transcripcional PGC-1 α (coactivador 1 α del receptor activado gamma del proliferador de peroxisoma), el cual participa en el control de la gluconeogénesis hepática; el PGC-1 α desempeña un papel central en la regulación del metabolismo energético celular (Rodríguez-Guerrero et al., 2018).

La síntesis de la colina potencialmente consume tres unidades de metionina como donante de grupos metilo (CH₃). Colina tiene efecto sobre la transferencia de triglicéridos desde el hígado, principalmente al inicio de la lactación (en etapa la disponibilidad de otros nutrientes como folatos, metionina y vitamina B12 también puede ser baja), cuando los AG libres del tejido adiposo son movilizados e incorporados a lipoproteínas (este proceso requiere un donante de grupos metilo (Hutjens, 2013; Rodríguez-Guerrero et al., 2018; Suárez Suárez, 2018).

También en la expresión genética la Adomet es donador de grupo metilo, actúa en metilación del ADN. de igual manera el AdoMet tiene como destino alternativo aunque minoritario su participación en la síntesis de poliaminas (las poliaminas funcionan en la proliferación y crecimiento celular, son factores de crecimiento para células de mamífero en cultivo, y estabilizan células intactas, organelos subcelulares y membranas) (Carballal Zeballos, 2011; Cardo, 2020; Fraile Pernaute, 2020).

2.5.3.3 Biosíntesis de cisteína

La S-adenosilhomocisteína (AdoHcy o SAH), generada por la transferencia del grupo metilo del AdoMet se hidroliza en forma reversible con ayuda de la adenosilhomocisteína hidrolasa para dar adenosina y homocisteína. La cistationina β-sintasa (CBS) cataliza la reacción de condensación de homocisteína y serina para formar cistationina en la primera reacción de la vía de la transulfuración, que conduce a la formación de cisteína a partir de metionina (Carballal Zeballos, 2011).

Cisteína es una fuente de azufre, tiene participación en la síntesis de coenzima A, además de ser importante precursor de glutatión (reserva de cisteína, forma por la cual se transporta la cisteína a tejidos extrahepáticos) y taurina (control de estrés oxidativo que provoca daño de tejidos; Carballal Zeballos, 2011; Cardo, 2020).

2.5.3.4 Partición de la energía

La carnitina es un compuesto nitrogenado que se sintetiza a partir de lisina y metionina, es responsable del transporte de AG al interior de las mitocondrias en

las células, para poder metabolizar los AG deben unirse a la CoA para dar acetyl-CoA (forma activa de AG). La L-carnitina es capaz de contrarrestar el estrés oxidativo a través de la captación de radicales y la prevención de una acumulación de metabolitos finales de la preoxidación lipídica, el uso de L-carnitina como suplemento alimenticio puede generar una disminución de la acumulación de lípidos en el hígado como consecuencia de una mayor capacidad de oxidación de los AG hepáticos, se estimula la producción hepática de glucosa y se disminuye el riesgo de desarrollar trastornos metabólicos en vacas alrededor del parto y durante la lactancia temprana. (Carballal Zeballos, 2011).

La síntesis de apolipoproteínas, como apoB100, esto tiene importancia debido a que las apolipoproteínas y los fosfolípidos son necesarios en la síntesis de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), por lo que podemos decir que metionina actúa en la síntesis correcta de VLDL y en la correcta β - oxidación de los ácidos grasos (Fraile Pernaute, 2020).

III. JUSTIFICACIÓN

La mejora de la eficiencia alimenticia es una de las principales estrategias para aumentar la producción y rentabilidad de las actividades pecuarias. La suplementación con AA protegidos en la dieta de rumiantes domésticos es útil en la mejora del rendimiento de leche y el contenido de proteína. Del mismo modo la inclusión de AA's pueden incrementar la eficiencia en el uso de la energía reduciendo costos de alimentación y mitigando el impacto ambiental asociado con la eliminación de compuestos nitrogenados al ambiente (Cardo, 2020; Mavrommatis et al., 2021).

Los requerimientos nutricionales de los AA para los animales en lactación son elevados y específicos, por esta razón es necesario suplementarlos en las raciones, la metionina al ser un AA limitante e importante para la producción de leche con parámetros adecuados de proteína, grasa, lactosa, sólidos totales, sólidos totales no grasos, etc (Cardo, 2020).

La demanda energética de las ovejas en lactación es muy elevada debido a las características en la composición química de la leche. El contenido de sólidos totales de la leche de oveja es muy superior a la de otros rumiantes domésticos como vacas y cabras favoreciendo un mayor rendimiento quesero. Sin embargo, este elevado contenido de sólidos totales determina los requerimientos de energía y proteína. Por lo cual, una de las estrategias nutricionales que han demostrado mejorar la eficiencia en el uso de energía y proteína de ovejas lecheras ha sido la inclusión de metionina en las raciones (Duque Quintero, 2015; Romero y Bravo, 2012).

Los estudios enfocados en analizar el efecto de la suplementación de metionina en ovejas lecheras se han llevado a cabo principalmente en países de la región mediterránea utilizando razas especializadas en producción de leche. En Latinoamérica en las últimas décadas se ha desarrollado una incipiente industria de producción de leche ovina. Sin embargo, existen pocos estudios encaminados a evaluar la inclusión de AA protegidos en las raciones de ovejas lecheras. Por lo cual, el estudio de la inclusión de metionina es fundamental para la generación de

sistemas de producción ovina económicamente viables y ecológicamente responsables.

IV. HIPÓTESIS

La suplementación con metionina protegida (Mepron®) en las raciones de ovejas lecheras cruza tiene efectos positivos sobre la producción y composición química de la leche en comparación con animales no suplementados.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes niveles suplementación de metionina protegida sobre la producción y composición química de leche de ovejas cruza en un sistema de producción estabulado con un clima templado de la zona centro de México.

5.2 Objetivos específicos

- Evaluar efecto de la suplementación de 0, 3 y 6g de metionina protegida (Mepron®) sobre la producción de leche de ovejas cruza.
- Evaluar efecto de la suplementación de 0, 3 y 6g de metionina protegida (Mepron®) sobre la composición química (proteína, lactosa, grasa, solidos totales y solidos no grasos) de leche de ovejas cruza.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

El presente trabajo se realizó en el Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (CEPIPSA), ubicado en Avenida Cruz Blanca No. 486, en San Miguel Topilejo, Delegación Tlalpan, Ciudad de México.

A 19° latitud Norte y 99° longitud Oeste a una altura de 2760 metros sobre el nivel del mar, el clima de la región es c (w) b (ij) que corresponde a semifrío semihúmedo con lluvias en verano y con una precipitación pluvial de 800 a 1200 milímetros anuales y una temperatura promedio de 19°C (FMVZ-UNAM, 2022).

6.2 Animales y tratamientos

Se utilizaron 20 ovejas cruza (East Friesian X Pelibuey) entre la 1^{ra} y 5^{ta} lactancia, próximas al parto; fueron distribuidas aleatoriamente en tres grupos (dos de 7 animales cada uno y el tercero de 6), a los que se les administró una dosis creciente de metionina protegida como aditivo en la dieta, los grupos fueron de la siguiente manera:

C= Grupo testigo

M3= 3g de Mepron®)/animal/ día

M6= 6g de Mepron®)/animal/día

Se utilizó un suplemento comercial (Mepron®) de Metionina protegida (RPMet) en pellets que contiene el 85% de DL-metionina (Anexo 1 y 2).

Las ovejas utilizadas en este trabajo de investigación fueron tratadas de acuerdo a las normas vigentes de bienestar animal en México.

6.3 Alimentación y manejo

Se formuló una dieta basada en los requerimientos nutricionales del NRC. (2007) para animales con un peso promedio de 60kg, en estabulación total y al inicio de la lactación. La alimentación consistía de 73% forraje, 25% concentrado y 2% de sales

minerales (Cuadro 7). Se alimentaron dos veces al día (8:00 y 14:00 h), con un aporte diario por animal de 1.94 kg en base seca.

Cuadro 6. Composición nutrimental de la dieta basal suministrada a ovejas.

Ingrediente	% Inclusión	Materia Seca	Proteína Cruda (% MS)	Extracto Etéreo (% MS)	Fibra Cruda (% MS)
Pellet de alfalfa	23.0	96.0	18.84	0.98	23.04
Ensilado de maíz	15.0	21.9	1.68	0.32	8.17
Heno de avena	35.0	92.4	4.98	1.14	36.46
Concentrado Comercial ¹	22.0	93.0	19.4	3.73	5.95
Premezcla de vitaminas y minerales ²	2.0	100	0	0	0

¹Composición del concentrado comercial:

²Por cada kilogramo de premezcla mineral: Mn 6000 mg, Fe 4000 mg, Cu 3000 mg, I260 mg, Se 20 mg, Vitamina A 500000 IU, Vitamina D 85000 IU, Vitamina E 5000 IU

Los animales se encontraban en un sistema de estabulación total, separados en tres corrales, de acuerdo a la fecha de parto. Los partos fueron supervisados para identificar posible distocia, respiración de los corderos, aceptación de las ovejas al cordero, ingesta de calostro e identificación y pesaje de los neonatos.

La administración de Mepron® fue a través de vía oral, con ayuda de un tubo de PVC, introduciendo el mismo en la boca del animal para facilitar el manejo. La primera dosis se suministró el día siguiente al parto, según al tratamiento que perteneciera el animal. Posteriormente, la metionina se administró una vez al día, por la mañana, después de ser proporcionado el alimento, durante 120 días de lactancia (Figura 10).

6.4 Ordeña y toma de muestras

El inicio del ordeño se llevó a cabo al día 31 posparto, se ordeñó de manera manual, una vez al día en la mañana. A partir del día 61 posparto se realizaron dos ordeños, en la mañana y en la tarde (de forma mecánica y manual respectivamente).

Hasta el día 30 día posparto el cordero permaneció con su madre y fue alimentado *ad libitum*. A partir del día 31 comenzó la lactancia restringida y se mantuvo hasta el día del destete a los 60 días (Figura 10).

Se realizaron muestreos de leche cada quince días, iniciando ocho días después del parto, para evaluar la composición de la misma, fueron tomados 30 ml por animal, en frascos de plástico estériles, sellados herméticamente, los cuales se congelaron hasta su análisis, se utilizó un analizador de ultrasonido (Ekomilk-BULTECH 2000) el cual tuvo en cuenta las siguientes mediciones: % proteína, % grasa, % sólidos totales, % sólidos no grasos y % lactosa en leche, asimismo se registró la producción individual y producción total de los animales que se midieron con ayuda de una probeta graduada de 500mL cada 15 días, en ambos ordeños (Figura 10).

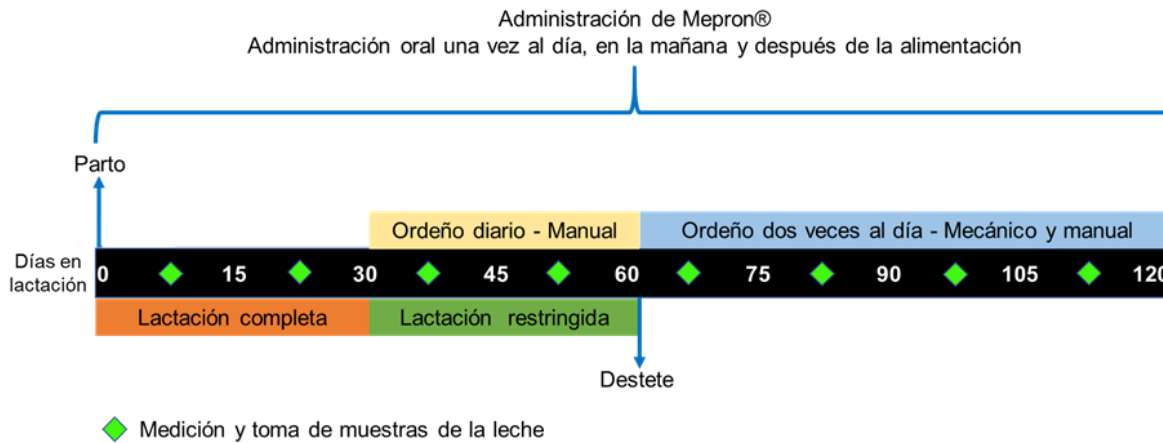


Figura 10. Esquema del periodo experimental.

6.5 Análisis de datos

6.5.1 Determinación del tamaño de muestra

La determinación del número de réplicas para cada uno de los tratamientos (niveles de metionina), se realizó utilizando el programa G-Power 3.1.9.6. El programa utiliza la siguiente información para poder determinar el número de unidades experimentales a utilizar en el experimento planteado:

Diseño del experimento: mediciones repetidas

Estadístico de prueba: prueba F

Números de mediciones repetidas: 10

Correlación entre las repeticiones: 0.7

Número de niveles de tratamiento: 3

Valor de α : 0.05

Tamaño del efecto: 0.33

El tamaño del efecto se obtuvo del cálculo de las diferencias estandarizadas de un estudio previo, en el cual se probaron tratamientos que incluían un control y la adición de metionina en ovejas (Goulas et al., 2003). La correlación entre observaciones se obtuvo de un estudio previo donde se utilizó un diseño de mediciones repetidas aplicando un modelo mixto (Hernandez et al., 2014).

En la figura 11 se puede observar que con 20 réplicas en el experimento se obtiene una potencia estadística de 0.9 por lo cual se determinó la utilización de este tamaño de muestra para la realización del presente protocolo de experimentación.

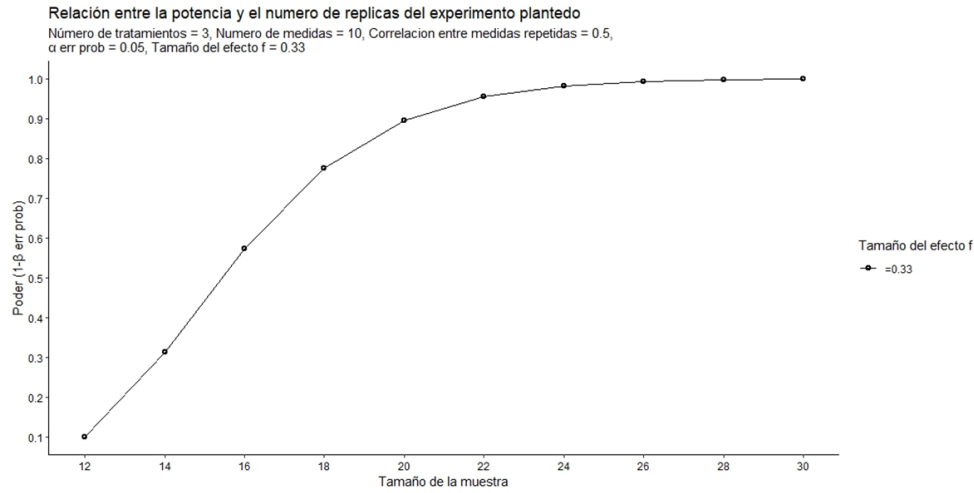


Figura 11. Relación entre la potencia y el número de réplicas del experimento planteado.

6.5.2 Análisis estadístico

Para el análisis del efecto de los niveles de metionina sobre producción láctea (producción total) y composición química (% grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y sólidos no grasos) se utilizó un modelo mixto con medidas repetidas en el tiempo (Littell et al., 1998), tomando como efectos fijos los niveles de metionina (0, 3g y 6g) y el tiempo en el cual se realizó la medición y como efecto aleatorio a la oveja, utilizando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijt} = \mu + Me_i + D_{j(i)} + Reg_t + (Met*Reg)_{it} + e_{ijt}$$

Dónde:

Y_{ijt} = La variable respuesta (producción láctea y composición química), medida al tiempo t

μ = Efecto de la media general

Me_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel de metionina

$D_{j(i)}$ = Efecto aleatorio de la j-ésima oveja

Reg_t = Efecto fijo del tiempo t en el que la medición de la producción de leche fue medida y composición química analizada

$(Met*Reg)_{it}$ = Efecto fijo de la interacción entre el nivel de metionina y el tiempo

e_{ijt} = Error experimental

La selección de la matriz de varianzas-covarianzas que mejor ajustara a la estructura de nuestros datos se llevó a cabo utilizando el Criterio de Información Akaike (AIC) y el Criterio de Información Bayesiano (BIC). Las matrices que se evaluaron fueron las siguientes: Auto-regresiva de primer grado AR (1), Ante-regresiva de primer grado ANTE (1), Toeplitz, no estructurada (UN) y componente de simetría (CS) (Littell et al., 2000).

En donde se rechazó la hipótesis de nulidad se realizó comparación entre tratamientos con la prueba Tukey. Se dictó significancia cuando el valor de p fue menor a 0.05 y se estableció que existe una tendencia en el efecto de los tratamientos cuando el valor a p fue menor a 0.1.

VII. RESULTADOS

En el Cuadro 7 se muestran los resultados de rendimiento y composición química en respuesta a la suplementación con metionina. La producción de leche fue afectada por el tratamiento ($p = 0.046$) y por el día del experimento ($p = 0.0001$) (Cuadro 7 y Figura 12). Esta fue significativamente mayor en ovejas del tratamiento M6 ($p=0.04$) con un efecto lineal ($p<0.001$) (Cuadro 7). El tratamiento M6 tuvo una menor variabilidad de respuesta en las mediciones 4, 5 y 6 (Figura 12).

En la Figura 13 cada comparación se asocia con un segmento de línea vertical que une las posiciones de escala de las dos medias comparadas y la posición horizontal se determina por el valor p de las comparaciones. Los rectángulos de color en el eje Y mostraron el valor medio de cada combinación de tratamiento: día. Con relación a la interacción tratamiento: día, el efecto global no fue significativo ($p=0.97$); sin embargo, se pueden observar diferencias significativas entre las mediciones de los días 7 y 14 del tratamiento C y del tratamiento M3 en comparación con las mediciones del tratamiento M6 en el día 21.

No se observaron diferencias significativas de la suplementación con Mepron® sobre resultados del contenido de grasa ($p=0.43$) y rendimiento de grasa ($p=0.41$) (Cuadro 7). Se observó un efecto cuadrático significativo en relación al contenido de proteína en el tiempo ($p<0.001$); el efecto de la suplementación con Mepron® y la interacción de Met*tiempo no fueron significativas ($p>0.05$; Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de la suplementación de RPMet sobre la producción y composición química de la leche de oveja.

Componente	Metionina			Efecto		Valor p			E.E.
	0	3 g	6 g	Lineal	Cdt	Met	Tiempo	T*Met	
Rendimiento de leche (l/día)	0.65 ^b	0.71 ^b	0.97 ^a	**	ns	0.046	0.0001	0.97	0.08
Contenido de grasa (g/100 g)	5.53	5.52	4.93	ns	ns	0.43	0.0001	0.17	0.43
Rendimiento de grasa (g/día)	38.2	42.1	51.9	ns	ns	0.41	0.0001	0.25	6.39
Contenido Proteína (g/100 g)	5.22	5.69	5.25	ns	***	0.33	0.0001	0.26	0.20
Rendimiento de proteína (g/día)	35.2 ^b	42.3 ^b	55.5 ^a	***	ns	0.04	0.0001	0.42	5.31
Contenido de Lactosa (g/100 g)	4.74	4.65	5.0	ns	***	0.54	0.0001	0.30	0.09
Rendimiento de Lactosa (g/día)	31.3 ^b	35.0 ^{ab}	50.9 ^a	***	ns	0.02	0.0002	0.57	6.38
ST (g/100 g)	15.0	15.8	15.3	ns	ns	0.71	0.03	0.53	0.46
Rendimiento ST (g/día)	10.2	11.9	15.7	***	ns	0.07	0.0001	0.33	1.51
SNGL (g/100 g)	11.0	11.4	11.5	ns	ns	0.18	0.04	0.56	0.23
Rendimiento SNGL (g/día)	73.0 ^b	85.0 ^{ab}	116. ^a	**	ns	0.03	0.0001	0.51	1.49

*ST, Sólidos totales; SNGL, Sólidos no grasos lácteos; Cdt, efecto cuadrático

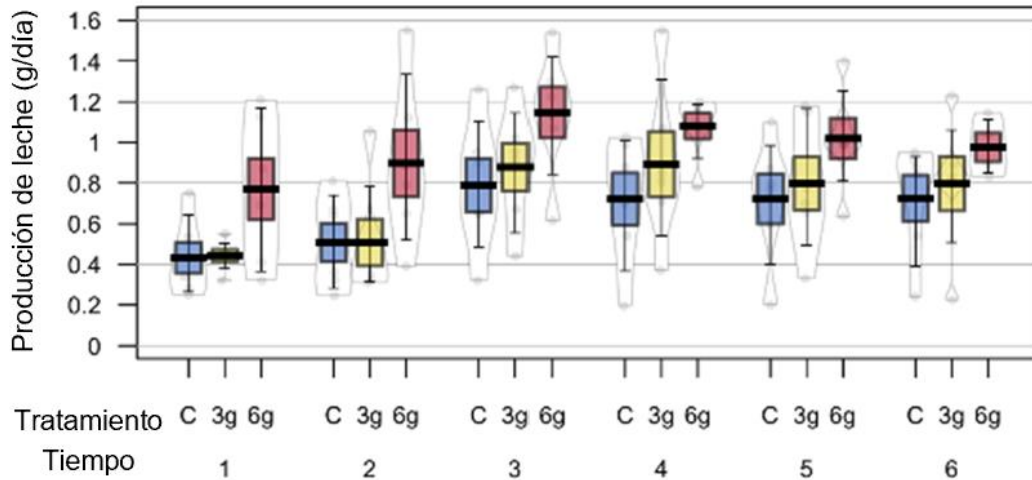


Figura 12. Efecto de la suplementación con Mepron® sobre la producción láctea de ovejas.

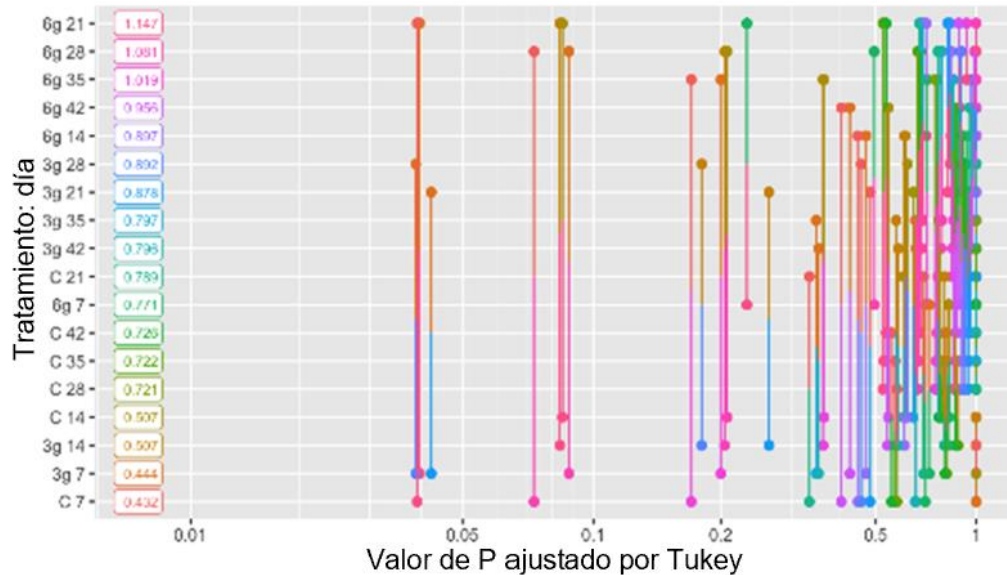


Figura 13. Gráfico del valor P de la interacción del tratamiento: días de experimentación para evaluar el efecto de la suplementación con Mepron® sobre la producción láctea de ovejas.

Con relación al rendimiento de proteína, el tratamiento M6 mostró los valores más altos (55.5 g/día) con relación al tratamiento C (35.2 g/día) y el tratamiento M3 (42.3 g/día) (Cuadro 7 y Figura 14). De manera similar a lo anteriormente mencionado en la producción de leche, el tratamiento M6 tuvo una menor variabilidad de respuesta en los días 4, 5 y 6 de las mediciones.

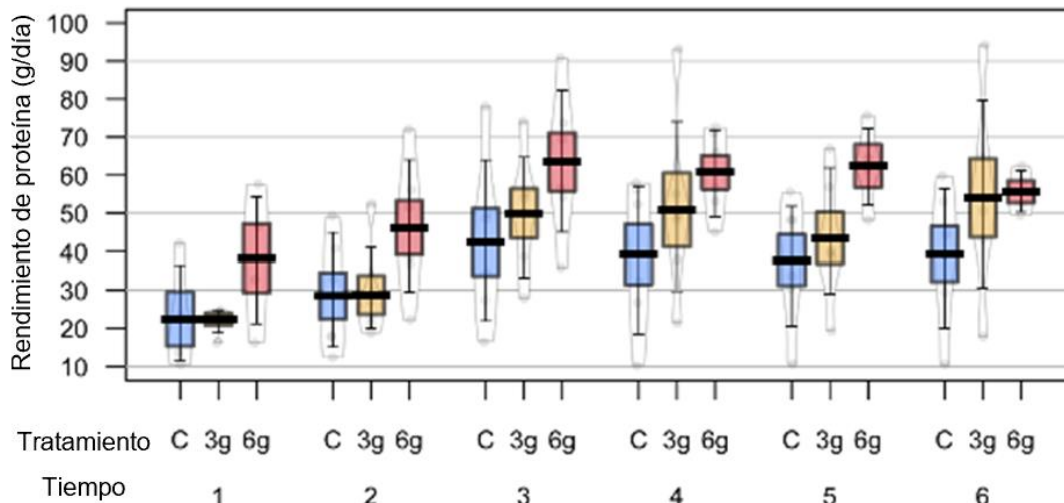


Figura 14. Efecto de la suplementación de Mepron® sobre el rendimiento de proteína (g/día). El rendimiento de proteína fue afectado por el tratamiento ($p = 0.04$) y por el día de experimentación ($p = 0.0001$).

El rendimiento de lactosa aumento ($p=0.02$) con la suplementación de metionina, mostrando diferencias entre el tratamiento C (31.3 g/día) y M6 (50.9 g/día) (Cuadro 7). El contenido de sólidos totales (ST) no se vio afectado por la suplementación de metionina ($p=0.71$), el rendimiento de ST tuvo un aumento en M6 ($p=0.07$) (Cuadro 7).

El contenido de sólidos no grasos lácteos (SNGL) no tuvo cambios significativos con la inclusión de metionina ($p=0.18$), sin embargo, el rendimiento de SNGL tuvo un efecto positivo a la suplementación de metionina, con mejores resultados al tratamiento M6 (116.0 g/día) en comparación con C (73.0 g/día) (Cuadro 7). La Figura 15 muestra que el tratamiento M6 mostró los valores más altos de sólidos no grasos a través del tiempo, con menor variabilidad de respuesta en días 4, 5 y 6 del experimento.

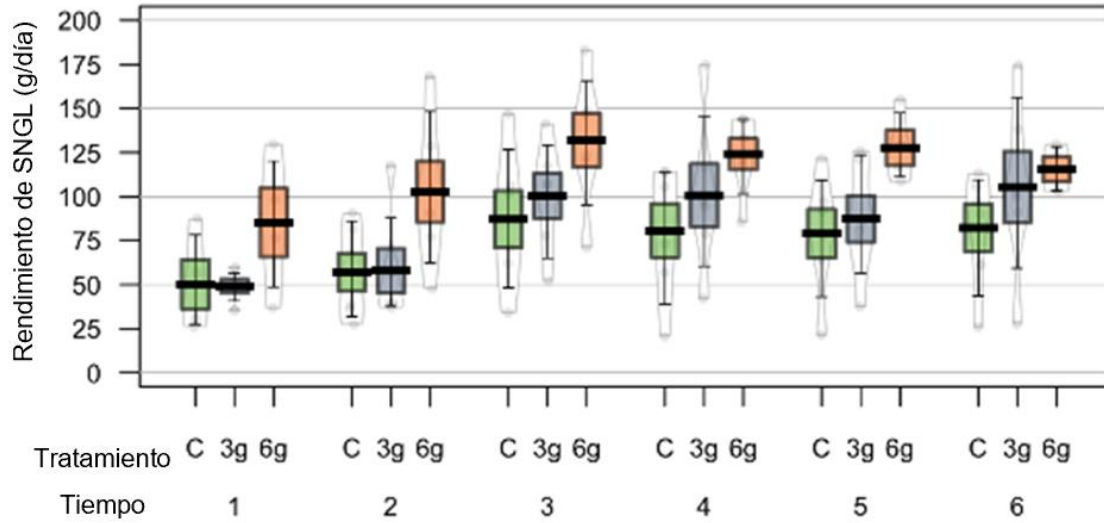


Figura 15. Efecto de la suplementación de Mepron® sobre el rendimiento de SNGL (g/día) de ovejas. Producción de SNGL fue afectada por el tratamiento ($p = 0.03$) y por el día de experimentación ($p = 0.0001$).

VIII. DISCUSIÓN

El aumento observado en la producción de leche de ovejas cruzadas suplementadas con RPMet podría asociarse con la mejora de la disponibilidad de nutrientes. En este sentido, Goulas et al. (2003) concluyeron que la mejora de rendimiento en la producción de leche de las ovejas suplementadas con RPMet se debe a la mayor absorción de los nutrientes limitantes de la dieta, la mejora del balance proteico y la mayor disponibilidad de AA.

Li et al. (2016) encontraron que la producción de leche de vacas con dietas con bajo aporte energético suplementadas con metionina protegida en el período de pre-lactación fue similar en vacas alimentadas con raciones altas en energía; esto demuestra que la metionina puede superar las limitaciones de energía en este período. Ayyat et al. (2019) sugieren que la suplementación de AA protegidos tiene una respuesta positiva sobre la producción de leche y sus componentes en la lactancia temprana; sin embargo, esta respuesta disminuye con el avance de la lactancia.

Por otro lado, el incremento en la disponibilidad de metionina en vacas al inicio de la lactación permite mejorar el metabolismo lipídico en el hígado (Ayyat et al. 2019). Osorio et al. (2014) demostraron que la metionina protegida del rumen puede alterar las enzimas del hígado relacionadas con el metabolismo energético y proteico. Asimismo, distintos estudios encontraron efectos positivos en el balance energético de vacas lecheras suplementadas con metionina protegida, esto debido al mejor aprovechamiento del N disponible en las raciones (Ayyat et al., 2019; Li et al., 2016; Sun et al., 2016). La metionina participa en la síntesis de carnitina como donador de grupos metilo y a su vez contribuye a la regulación de la cetosis por la oxidación de los ácidos grasos de cadena larga (Carlson et al., 2007; Elsaadawy et al., 2022).

En este sentido la metionina puede modificar la partición de energía de la siguiente manera: como donador de metilo puede proporcionar grupos metilo para la síntesis de colina que es la responsable de aumentar el glucógeno hepático; promueve la activación del coactivador transcripcional PGC-1 α para el control de la gluconeogénesis y por último participa en la síntesis de carnitina para el transporte

de los ácidos grasos. Lo cual conlleva una mejora en los mecanismos de respuesta al balance energético negativo durante la fase de lactación de las ovejas (Pinotti et al., 2002).

Nuestros resultados contrastan con otros estudios que no mostraron una respuesta positiva en la producción de leche cuando se suplementó RPMet en ovejas y cabras lecheras (Al-Qaisi y Titi, 2014; Baldwin et al., 1993); lo que puede atribuirse al hecho de que la metionina no era un factor limitante en estos estudios (Tsiplakou et al., 2017). Otro factor podría ser la capacidad de los rumiantes para mantener el suministro de AA a la glándula mamaria para apoyar la producción de leche independientemente del perfil de AA de las dietas alimentadas (Madsen et al., 2005).

La metionina es un AA glucogénico el cual puede utilizarse para la generación de glucosa durante la gluconeogénesis (Reece, 2009). Sin embargo, los lípidos que se encuentran en la leche son incorporados a esta mediante dos mecanismos; primero, la captación de ácidos grasos preformados (principalmente VLDL) del capilar sanguíneo a las células epiteliales mamarias y segundo por medio de la lipogénesis en el parénquima mamario (Bernard et al., 2008) el cual depende del suministro energético dado principalmente por el acetato y el butirato (Maxin et al., 2011) lo que significa que el aumento en el flujo intestinal de metionina puede aumentar la producción de leche pero no necesariamente la producción de lípidos en la glándula mamaria ya que no se afecta el flujo de acetato y butirato.

A pesar de que la metionina puede generar cambios en la partición de la energía aumentando la cantidad de lípidos movilizados de las reservas corporales hacia la glándula mamaria; las células epiteliales glandulares poseen mecanismos regulatorios donde la enzima acetil CoA carboxilasa inhibe la lipogénesis cuando hay un aumento en el flujo de ácidos grasos de cadena larga derivados de la movilización corporal (Chilliard et al., 2000), por lo cual, el aumento en el flujo de ácidos grasos hacia la glándula mamaria no siempre conlleva al aumento de los lípidos en la leche y conduce a un aumento en las concentraciones de beta-hidroxibutirato (Gröhn et al., 1983).

Por lo anterior, se podría recomendar para futuros experimentos evaluar el perfil de ácidos grasos en la leche para determinar variaciones en la cantidad de ácidos grasos de cadena corta (entre 8-14 carbonos) y ácidos grasos de cadena larga (>16 carbonos) Los resultados de este trabajo apoyan las observaciones en el meta análisis realizado por León Solís et al. (2021), donde se encontraron diferencias en los lípidos presentes en la leche, pero con una gran variabilidad en las respuestas. Y es que no solo la suplementación con metionina o la asociación metionina- lisina induce un aumento en el contenido de lípidos en la leche, la relación entre estos AA y el nivel de suplementación está relacionado con este incremento (Goulas et al., 2003). Asimismo, se ha encontrado relación de la suplementación con metionina, vitamina B9 (ácido fólico) y vitamina B12 (cianocobalamina) ya que para el proceso de metilación hay gasto de estas 2 vitaminas (Preynat et al., 2009).

El no efecto de la suplementación con Mepron® sobre el contenido de proteínas de la leche, podría asociarse con el efecto de dilución al verse incrementado significativamente la producción de leche. Por otro lado, el efecto RPMet fue evidente sobre el rendimiento de proteína de la leche; lo cual podría explicarse por el hecho de que la RPMet administrado a ruminantes promueve mayores niveles plasmáticos circulantes de met (Loerch y Oke, 1989) y algunos AA esenciales (Arg, Lys, Thr y Trp), AA no esenciales (Ala, Asn, Asp, Glu, Gln y pro) y AA no proteínicos (Cit) para la síntesis de proteínas de la leche (McFadden et al., 2020).

Además, la proteína de la leche está compuesta por un 80% de caseína (~30% β -caseína); por lo que, el mayor rendimiento de proteína en leche de ovejas suplementadas con RPMet podría explicarse parcialmente por el hecho de que la metionina aumenta la expresión de β -caseína en la glándula mamaria (Gao et al., 2017) y respaldado por estudios previos que informaron un aumento de proteínas de la leche como resultado de infusiones abomasales de caseína (Clark, 1975; Vikmo et al., 1974).

En este estudio, la suplementación en la dieta de RPMet en ovejas cruzadas no afectó el contenido de lactosa, lo que concuerda con estudios previos en ovejas (Mavrommatis et al., 2021; Tsiplakou et al., 2017, 2018) y cabras (Madsen et al., 2005). Sin embargo, nuestros resultados difieren con los hallazgos reportados por

Goulas et al., (2003) quienes refieren un efecto significativo de la suplementación con RPMet en la dieta de ovejas sobre el rendimiento de lactosa en los primeros meses de lactación.

Este efecto se puede atribuir al aumento de la producción de leche y al papel de la lactosa como el principal componente osmótico que determina la producción de leche a través de la absorción de agua en las vesículas de secreción de los lactocitos (Gross & Bruckmaier, 2019); por lo que una mayor producción de leche se deriva de un aumento proporcional de la síntesis de lactosa por parte de la glándula mamaria (Angeles-Hernandez et al., 2021; Davis y Collier, 1985).

IX. CONCLUSIONES

La suplementación con metionina protegida en raciones de ovejas lecheras cruza permite mejorar la producción y composición química de la leche. Sin embargo, el nivel de respuesta es dependiente de la dosis de metionina suplementada; siendo la inclusión de 6g/día de Mepron® en la ración la que obtuvo el mayor efecto sobre el rendimiento de leche, proteína y lactosa. Nuestros hallazgos ubican a la suplementación de metionina como una opción para la mejora de la eficiencia alimenticia y producción láctea, asociada con una mayor síntesis de proteínas y disponibilidad de nutrientes en las ovejas en lactación.

X. IMPLICACIONES

El uso de metionina protegida como estrategia nutricional en ovejas lecheras es una opción viable para el incremento de la eficiencia en el uso de nutrientes y la mejora de la producción láctea. Sin embargo, es necesario estudiar las posibles interacciones entre la suplementación con metionina protegida y la calidad de las raciones ofrecidas, principalmente las relacionadas con los niveles de energía y proteína. Además, futuros estudios deberían enfocarse en el análisis de las interacciones entre aminoácidos limitantes de la producción láctea.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, C., Shahzad, I.-D., Sharif, M., Nisa, M. U., JAVAID, A., Hashmi, N., & Sarwar, M. (2009). Supplementation of Ruminally Protected Proteins and Amino Acids: Feed Consumption, Digestion and Performance of Cattle and Sheep. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11.
- Al-Qaisi, M. A., & Titi, H. H. (2014). Effect of rumen-protected methionine on production and composition of early lactating Shami goats milk and growth performance of their kids. *Archives Animal Breeding*, 57(1), Article 1. <https://doi.org/10.7482/0003-9438-57-001>
- Ángeles Hernández, J. C. (2012). *Aplicación de modelos matemáticos de ajuste de curva en lactaciones de ovejas en un sistema de producción orgánico*. Universidad Autónoma del Estado de México, Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
- Ángeles Hernández, J. C. (2017). *ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN LÁCTEA EN OVEJAS EN UN SISTEMA ORGÁNICO A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO- PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL.
- Angeles-Hernandez, J. C., Aranda-Aguirre, E., Muñoz-Benítez, A. L., Chay-Canul, A. J., Albarran-Portillo, B., Pollott, G. E., & Gonzalez-Ronquillo, M. (2021). Physiology of milk production and modelling of the lactation curve. *CABI Reviews*, 2021. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202116056>

- Apumayta López, G. G., & De La Cruz Huamaní, J. J. (2021). *COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE OVINO Y EL RENDIMIENTO DE QUESO EN CONDICIONES DE ALTURA* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA, FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA]. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0547a935-4a63-4b26-a17c-4cb6fe208126/content>
- Ardalan, M., Dehghan-Banadaky, M., Rezayazdi, K., & Hossein-Zadeh, N. G. (2011). The effect of rumen-protected methionine and choline on plasma metabolites of Holstein dairy cows. *The Journal of Agricultural Science*, *149*(5), 639–646. <https://doi.org/10.1017/S0021859610001292>
- Arias Islas, E., Morales Barrera, J., Prado Rebolledo, O., & García Casillas, A. (2020). Metabolismo en rumiantes y su asociación con analitos bioquímicos sanguíneos. *Abanico Veterinario*, *10*, 1–24. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.15>
- Armentano, L. E., Bertics, S. J., & Ducharme, G. A. (1997). Response of lactating cows to methionine or methionine plus lysine added to high protein diet based on alfalfa and heated soybeans. *Journal Dairy Science*, *80*(1194–1199).
- Ayyat, M. S., Al-Sagheer, A., Noreldin, A. E., Abd El-Hack, M. E., Khafaga, A. F., Abdel-Latif, M. A., Swelum, A. A., Arif, M., & Salem, A. Z. M. (2019). Beneficial effects of rumen-protected methionine on nitrogen-use efficiency, histological parameters, productivity and reproductive performance of ruminants. *Animal Biotechnology*, *32*(1), 51–66. <https://doi.org/10.1080/10495398.2019.1653314>

- Baldwin, J. A., Horton, G. M. J., Wohlt, J. E., Palatini, D. D., & Emanuele, S. M. (1993). Rumen-protected methionine for lactation, wool and growth in sheep. *Small Ruminant Research*, 12(2), Article 2. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(93\)90077-U](https://doi.org/10.1016/0921-4488(93)90077-U)
- Bedolla Cedeño, C., Lucio Domínguez, R., Cruz Hernández, Á. R., Bedolla García, J. C., Gómez Vázquez, A., & Cordova Izquierdo, A. (2021). *Revista Veterinaria Argentina* » *Células somáticas y calidad de la leche en la oveja*. <https://www.veterinariargentina.com/revista/2021/07/celulas-somaticas-y-calidad-de-la-leche-en-la-oveja/>
- Berger, Y. M., Billon, P., Bocquier, F., Caja, G., Cannas, A., McKusick, B., Marnet, P., & Thomas, D. (2004). *Principles of sheep dairying in North America*.
- Bernard, L., Leroux, C., & Chilliard, Y. (2008). Expression and Nutritional Regulation of Lipogenic Genes in the Ruminant Lactating Mammary Gland. En Z. Bösze (Ed.), *Bioactive Components of Milk* (pp. 67–108). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4_2
- Blanco, M. Á. (1999). Producción de leche en borregas. *FMVZ- UNAM*, 17–21.
- Busetti, M. (2006). LA CALIDAD EN LA LECHE DE OVEJA. *INTA*, 206–2014.
- Carballal Zeballos, J. S. (2011). *CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE LA CISTATIONINA β -SINTASA: PROPIEDADES REDOX DEL HEMO Y REACTIVIDAD DE SU PRODUCTO, EL SULFURO DE HIDRÓGENO* [Tesis de Doctorado en Química, Universidad de la República]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/2662/1/fq30331.pdf>

- Carbonero, P. (1976). Metabolismo de aminoácidos. *Universidad Politécnica de Madrid- Complementos de bioquímica*, 1–117.
- Cardo, L. (2020). METIONINA MUCHO MAS QUE PROTEINA EN LECHE. *Vaca Pinta*, 20, 80–85.
- Cardoso-Gutierrez, E., Aranda-Aguirre, E., Robles-Jimenez, L. E., Castelán-Ortega, O. A., Chay-Canul, A. J., Foggi, G., Angeles-Hernandez, J. C., Vargas-Bello-Pérez, E., & González-Ronquillo, M. (2021). Effect of tannins from tropical plants on methane production from ruminants: A systematic review. *Veterinary and Animal Science*, 14, 100214. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100214>
- Carlson, D. B., Litherland, N. B., Dann, H. M., Woodworth, J., & Drackley, J. (2007). Metabolic Effects of Abomasal L-Carnitine Infusion and Feed Restriction in Lactating Holstein Cows. *Journal of dairy science*, 89, 4819–4834. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72531-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72531-0)
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R. M., & Doreau, M. (2000). Ruminant milk fat plasticity: Nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Annales de Zootechnie*, 49(3), 181–205. <https://doi.org/10.1051/animres:2000117>
- Clark, J. H. (1975). Lactational responses to postruminal administration of proteins and amino acids. *Journal of Dairy Science*, 58(8), Article 8. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(75\)84696-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84696-0)
- Corona Gochi, L. (2016). “El uso de subproductos y aditivos en la alimentación ovina”. *Congreso Internacional del Borrego y la Cabra*, 8, 1–14.

- Davis, S. R., & Collier, R. J. (1985). Mammary Blood Flow and Regulation of Substrate Supply for Milk Synthesis. *Journal of Dairy Science*, 68(4), Article 4. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80926-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80926-7)
- Duque Quintero, M. (2015). *EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON METIONINA Y LISINA PROTEGIDAS SOBRE EL FLUJO INTESTINAL DE AMINOÁCIDOS, PRODUCCIÓN DE LECHE Y CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS LÁCTEAS* [Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias]. https://infortamboandina.co/apc-aa-files/a944b6c7b69099b8dc1b99fe7caafa96/duquequinterom_2015_efectosu-pleentacionmetionina.pdf
- Duque Quintero, M., Rosero Noguera, R., & Olivera Ángel, M. (2017). Digestión de materia seca, proteína cruda y aminoácidos de la dieta de vacas lecheras. *Agronomy Mesoamerican*, 341–356. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25643>
- Elhadi, A., Minh, L. D. T., Saldo, J., Toral, P. G., Hervás, G., Frutos, P., & CAJA, G. (2017). Efectos de la Relación Forraje a Concentrado en Ovejas Lecheras. 2. Perfil Lipídico y Rendimiento Quesero. *AIDA, XVII Jornadas Sobre Producción Animal*, 129–131.
- Elsaadawy, S. A., Wu, Z., Wang, H., Hanigan, M. D., & Bu, D. (2022). Supplementing Ruminally Protected Lysine, Methionine, or Combination Improved Milk Production in Transition Dairy Cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2022.780637>
- FAO. (2022). *Producción y productos lácteos: Pequeños rumiantes*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

<https://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/small-ruminants/es/>

Flores, A., Mendoza, G., Pinos-Rodriguez, J. M., Plata, F., Vega, S., & Bárcena, R. (2009). Effects of rumen-protected methionine on milk production of dairy goats. *Italian Journal of Animal Science*, 8(2), 271–275. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.271>

FMVZ-UNAM. (2022). *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia // UNAM*. CEPIPSA. <https://fmvz.unam.mx/fmvz/centros/cepipsa/localizacion.html>

Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Cogan, T. M., & Guinee, T. P. (2000). *Fundamentals of Cheese Science*. Springer Science & Business Media.

Fraile Pernaute, E. (2020). Metionina en el hígado, ¡Más que leche! *Albeitar* 238, 50–52.

Ganzábal, Á., & Montossi, F. (1991). PRODUCCIÓN DE LECHE OVINA Situación actual de la producción mundial y perspectivas en el Uruguay. *INIA- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria*, 10, 1–43.

Gao, H. N., Zhao, S. G., Zheng, N., Zhang, Y. D., Wang, S. S., Zhou, X. Q., & Wang, J. Q. (2017). Combination of histidine, lysine, methionine, and leucine promotes β -casein synthesis via the mechanistic target of rapamycin signaling pathway in bovine mammary epithelial cells. *Journal of Dairy Science*, 100(9), Article 9. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10729>

García-Díaz, L. K., Mantecón, Á. R., Sepúlveda, W. S., & Maza, M. T. (2012). *PRODUCCIÓN DE LECHE OVINA COMO ALTERNATIVA DE NEGOCIO AGROPECUARIO: MODELO DE PRODUCCIÓN EN CASTILLA Y LEÓN (ESPAÑA)*. 31, 6–18.

- Golshan, S., Pirmohammadi, R., & Khalilvandi-Behroozyar, H. (2019). Microwave irradiation of whole soybeans in ruminant nutrition: Protein and carbohydrate metabolism in vitro and in situ. *Veterinary Research Forum, Online First*, 343–350. <https://doi.org/10.30466/vrf.2019.35896>
- Goulas, C., Zervas, G., & Papadopoulos, G. (2003). Effect of dietary animal fat and methionine on dairy ewes milk yield and milk composition. *Animal Feed Science and Technology*, 105(1), 43–54. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00048-8)
- Gröhn, Y., Lindberg, L.-A., Bruss, M. L., & Farver, T. B. (1983). Fatty Infiltration of Liver in Spontaneously Ketotic Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 66(11), 2320–2328. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(83\)82088-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)82088-8)
- Gross, J. J., & Bruckmaier, R. M. (2019). Review: Metabolic challenges in lactating dairy cows and their assessment via established and novel indicators in milk. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 13(S1), Article S1. <https://doi.org/10.1017/S175173111800349X>
- Guevara Muñeton, L. P. (2018). *Composição do leite de ovelhas Santa Inês em lactação suplementadas com lisina e metionina protegida e seu efeito na progênie no tropico de Brasil*. Universidade federal de Mato Grosso.
- Guinard, J., & Rulquin, H. (1995). Effects of graded amounts of duodenal infusions of methionine on the mammary uptake of major milk precursors in dairy cows. *Journal Dairy Science*, 78, 2196–2207.
- Gutiérrez Olvera, C. (2014). AMINOÁCIDOS Y PROTEÍNAS. *FMVZ- UNAM*, 1–3.
- Hernandez, J. C. A., Ortega, O. A. C., Perez, A. H. R., Ronquillo, M. G., Hernandez, J. C. A., Ortega, O. A. C., Perez, A. H. R., & Ronquillo, M. G. (2014). Effects

- of crossbreeding on milk production and composition in dairy sheep under organic management. *Animal Production Science*, 54(10), 1641–1645. <https://doi.org/10.1071/AN14214>
- Hernández-Marín, J. A. (2017). CONTRIBUCIÓN DE LA OVINOCULTURA AL SECTOR PECUARIO EN MÉXICO. *Agro Productividad*, 10(3), Article 3.
- Hutjens, M. F. (2013). *FISIOLOGÍA DIGESTIVA Y USO DE ADITIVOS ALIMENTICIOS RUMIANTES*. 17–32.
- Jandal, J. M. (1996). Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 22(2), 177–185. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00880-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00880-2)
- Jenko, C., Bonato, P., Fabre, R., Perlo, F., Tisocco, O., & Teira, G. (2018). Adición de taninos a dietas de rumiantes y su efecto sobre la calidad y rendimiento de la carne. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, Vol29No56. <https://doi.org/10.33255/2956/355>
- Lara, A., Mendoza, G. D., Landois, L., Barcena, R., Sánchez-Torres, M. T., Rojo, R., Ayala, J., & Vega, S. (2006a). Milk production in Holstein cows supplemented with different levels of ruminally protected methionine. *Livestock Science*, 105(1), 105–108. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.032>
- Lara, A., Mendoza, G. D., Landois, L., Barcena, R., Sánchez-Torres, M. T., Rojo, R., Ayala, J., & Vega, S. (2006b). Milk production in Holstein cows supplemented with different levels of ruminally protected methionine. *Livestock Science*, 105(1), Article 1. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.032>
- León Solís, F. A., Ortega, M.-I., Ortega-Meneses, F., Rendon-Calzada, M. G., Vieyra-Alberto, R., Lizarazo-Chaparro, A., & Angeles-Hernandez, J. C. (2021). Efecto de la suplementación con metionina sobre la producción y

composición química de la leche en pequeños rumiantes: Una revisión analítica. *Congreso de la Asoc. Argentina de Producción Animal – RAPA XXXX, Vol. xy(Supl. 1)*.

- Li, C., Batistel, F., Osorio, J. S., Drackley, J. K., Luchini, D., & Loor, J. J. (2016). Peripartal rumen-protected methionine supplementation to higher energy diets elicits positive effects on blood neutrophil gene networks, performance and liver lipid content in dairy cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0077-9>
- Littell, R. C., Henry, P. R., & Ammerman, C. B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, 76(4), 1216–1231. <https://doi.org/10.2527/1998.7641216x>
- Littell, R. C., Pendergast, J., & Natarajan, R. (2000). Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine*, 19(13), 1793–1819. [https://doi.org/10.1002/1097-0258\(20000715\)19:13<1793::AID-SIM482>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1097-0258(20000715)19:13<1793::AID-SIM482>3.0.CO;2-Q)
- Loerch, S. C., & Oke, B. O. (1989). Rumen Protected Amino Acids in Ruminant Nutrition. En *Absorption and Utilization of Amino Acids*. CRC Press.
- Lorenzana Moreno, A. V. (2021). *Efecto de lisina y metionina herbales protegidas, en el comportamiento productivo de corderos en crecimiento*. Universidad Autónoma Metropolitana- División de Ciencias Biológicas y de la Salud.
- Madsen, T. G., Nielsen, L., & Nielsen, M. O. (2005). Mammary nutrient uptake in response to dietary supplementation of rumen protected lysine and methionine in late and early lactating dairy goats. *Small Ruminant Research*, 56(1), 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.04.010>

- Martínez-Borraz, A., Moya-Camarena, S. Y., González-Ríos, H., & Pinelli-Saavedra, A. (2010). Contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) en leche de ganado lechero Holstein estabulado en el noroeste de México. *Rev Mex Cienc Pecu*, 15.
- Mavrommatis, A., Mitsiopolou, C., Christodoulou, C., Kariampa, P., Simoni, M., Righi, F., & Tsiplakou, E. (2021). Effects of Supplementing Rumen-Protected Methionine and Lysine on Milk Performance and Oxidative Status of Dairy Ewes. *Antioxidants*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/antiox10050654>
- Maxin, G., Rulquin, H., & Glasser, F. (2011). Response of milk fat concentration and yield to nutrient supply in dairy cows. *Animal*, 5(8), 1299–1310. <https://doi.org/10.1017/S1751731111000206>
- McFadden, J. W., Girard, C. L., Tao, S., Zhou, Z., Bernard, J. K., Duplessis, M., & White, H. M. (2020). Symposium review: One-carbon metabolism and methyl donor nutrition in the dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 103(6), Article 6. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17319>
- Merchant, I., Orihuela, A., Vázquez, R., & Aguirre, V. (2021). Caracterización de la curva de lactancia y calidad de la leche en ovejas Santa Cruz (*Ovis aries*). *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12(2), 644–652. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5519>
- Neville, M. C., & Jensen, R. G. (1995). The physical properties of human and bovine milks. *Academic Press. California, USA*, 81–85.
- NRC. (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. *National Research Council- The National Academies Press, Washington, USA*. <https://doi.org/10.17226/11654>.

- Ochoa Alfaro, A. E., Vega Roque, L., Ochoa Cordero, M. A., & Bisset Mandeville, P. (2009). CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA LECHE DE OVEJAS RAMBOUILLET BAJO MANEJO INTENSIVO. *Revista Científica*, XIX(2), 196–200.
- Osorio, J. S., Ji, P., Drackley, J. K., Luchini, D., & Looor, J. J. (2014). Smartamine M and MetaSmart supplementation during the peripartal period alter hepatic expression of gene networks in 1-carbon metabolism, inflammation, oxidative stress, and the growth hormone-insulin-like growth factor 1 axis pathways. *Journal of Dairy Science*, 97(12), 7451–7464. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8680>
- Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M., & Haenlein, G. F. W. (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1), 88–113. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.013>
- Pérez Rocha, J. (2010). Producción de leche de oveja y su valor agregado. *UNO*, 1–14.
- Pinotti, L., Baldi, A., & Dell'Orto, V. (2002). Comparative mammalian choline metabolism with emphasis on the high-yielding dairy cow. *Nutrition Research Reviews*, 15(2), Article 2. <https://doi.org/10.1079/NRR200247>
- Pirisi, A., Piredda, G., Papoff, C. M., di Salvo, R., Pintus, S., Garro, G., Ferranti, P., & Chianese, L. (1999). Effects of sheep α -s-1-casein CC, CD and DD genotypes of milk composition and cheese making properties. *Journal of Dairy Research*, 66, 409–419.
- Preynat, A., Lapierre, H., Thivierge, M. C., Palin, M. F., Matte, J. J., Desrochers, A., & Girard, C. L. (2009). Influence of methionine supply on the response of

- lactational performance of dairy cows to supplementary folic acid and vitamin B12. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1685–1695.
<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1572>
- Pulina, G., & Bencini, R. (Eds.). (2004). *Dairy sheep nutrition*. CABI Pub.
- Ramos, M., & Juarez, M. (2011). Milk | Sheep Milk. En J. W. Fuquay (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)* (pp. 494–502). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00314-9>
- Raynal-Ljutovac, K., Gaborit, P., & Lauret, A. (2005). The relationship between quality criteria of goat milk, its technological properties and the quality of the final products. *Small Ruminant Research*, 60(1), 167–177.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.010>
- Reece, Willian. O. (2009). *Dukes Fisiología de los Animales Domésticos* (12 ed). Acribia.
- Robinson, P. H., Chalupa, W., Sniffen, C. J., Julien, W. E., Sato, H., Fujieda, T., Ueda, T., & Suzuki, H. (2000). Influence of abomasal infusion of high levels of lysine or methionine, or both, on ruminal fermentation, eating behavior, and performance of lactating dairy cows. *American Society of Animal Science*, 78, 1067–1077.
- Rodríguez Palacios, R. (2013). “MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE POSTDESTETE EN OVEJAS DE LA RAZA DORSET UTILIZANDO UNA DIETA CON DOS APORTES DIFERENTES DE ALIMENTO CONCENTRADO COMERCIAL” [UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO]. <http://132.248.9.195/ptd2013/diciembre/0706708/0706708.pdf>

- Rodriguez-Guerrero, V., Lizarazo, A. C., Ferraro, S., Suárez, N., Miranda, L. A., & Mendoza, G. D. (2018). Effect of herbal choline and rumen-protected methionine on lamb performance and blood metabolites. *South African Journal of Animal Science*, 48(3), 427–434. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i3.3>
- Romero, O., & Bravo, S. (2012). Alimentación y nutrición en los ovinos. *Punto Ganadero*, 23–40.
- Sampelayo, M. R. S., López, J. B., Adarve, G. de la T., Morales, E. R., Carmona, F. D., & Navarro, J. R. F. (2003). Calidad de la leche de los pequeños rumiantes. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental*, 16, 155–166.
- Suárez Suárez, Z. N. E. (2018). *EVALUACIÓN DE BIOCOLINA SOBRE PARÁMETROS PRODUCTIVOS EN EL PERIODO DE TRANSICIÓN DE OVEJAS EAST FRIESIAN* [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA]. <http://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/5875/TesisM.FAV.2018.Evaluacion.Suarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Südekum, K.-H., Wolfram, S., Ader, P., & Robert, J.-C. (2004). Bioavailability of three ruminally protected methionine sources in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 113(1–4), 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.11.001>
- Sun, F., Cao, Y., Cai, C., Li, S., Yu, C., & Yao, J. (2016). Regulation of Nutritional Metabolism in Transition Dairy Cows: Energy Homeostasis and Health in

- Response to Post-Ruminal Choline and Methionine. *PLOS ONE*, 11(8), e0160659. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160659>
- Tsiplakou, E., Mavrommatis, A., Kalogeropoulos, T., Chatzikonstantinou, M., Koutsouli, P., Sotirakoglou, K., Labrou, N., & Zervas, G. (2017). The effect of dietary supplementation with rumen-protected methionine alone or in combination with rumen-protected choline and betaine on sheep milk and antioxidant capacity. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(5), Article 5. <https://doi.org/10.1111/jpn.12537>
- Tsiplakou, E., Mavrommatis, A., Skliros, D., Sotirakoglou, K., Fliemetakis, E., & Zervas, G. (2018). The effects of dietary supplementation with rumen-protected amino acids on the expression of several genes involved in the immune system of dairy sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(6), Article 6. <https://doi.org/10.1111/jpn.12968>
- UCO. (2002). La leche de oveja. *Universidad de Cordoba*, 1–52.
- Vik-mo, L., Emery, R. S., & Huber, J. T. (1974). Milk Protein Production in Cows Abomasally Infused with Casein or Glucose¹. *Journal of Dairy Science*, 57(8), Article 8. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)84979-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)84979-9)
- Wendorff, W. I., & Haenlein, G. F. W. (2017). Sheep Milk – Composition and Nutrition. En *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals* (pp. 210–221). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119110316.ch3.2>
- Zabala Sandoval, R. (2012). *CURVAS DE LACTACIÓN DE OVEJAS RAMBOUILLET CON ORDEÑA DIARIA Y SEMANAL [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ FACULTAD DE AGRONOMÍA]*.

<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3444/IAZ1C-UR01201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Zanton, G. I., Bowman, G. R., Vázquez-Añón, M., & Rode, L. M. (2014). Meta-analysis of lactation performance in dairy cows receiving supplemental dietary methionine sources or postruminal infusion of methionine. *Journal of Dairy Science*, 97(11), Article 11. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8220>
- Zeisel, S. H., & da Costa, K.-A. (2009). Choline: An essential nutrient for public health. *Nutrition Reviews*, 67(11), 615–623. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00246.x>

XII. ANEXOS

Product Information

Mepron®

APPEARANCE

Almost white, free flowing cylindrical granulate
 Bulk density: 710 kg / m³ ± 10 %
 Particle size: Pellets 1.8 x 3 – 4 mm
 Solubility: Nearly insoluble in water

SPECIFIED VALUES

DL-Methionine min. %	85.0
Ash max. %	2.0
Loss on drying max. %	2.0

PRODUCTION

Mepron® is produced by coating methionine with a protective film.

PROCESSING

The Mepron® pellet (1.8 x 3 – 4 mm) containing DL-Methionine is virtually dust-free, has a very high durability and a low loss on drying (max. 2 %). Its technical properties result in excellent performance during conveying and in perfect flowability. Mepron® can be mixed homogeneously. The rate of rumen protection is not affected when mixed with potentially abrasive components (mineral mixes), when handled at extremely high ambient temperature or when subjected to low pH (silage). The mechanical stress during transport with common conveyers (screw, elevator, pneumatic transport) has no effects on the rumen protection of Mepron®.

USE

Mepron® is the rumen-protected source of methionine for ruminants with time-dependent release. Methionine is the amino acid most commonly limiting dairy cows' performance. Mepron® is included into dairy rations to achieve a better amino acid balance. Typical inclusion ranges from 10 to 20 g per cow per day, depending on performance and ration composition.

NUTRITIONAL MATRIX

Rumen bypass	80 %
Digestibility	90 %
Crude protein (N x 6.25)	50 %
Crude fiber	3.0 %
Crude fat	1.0 %
Crude ash	2.0 %
NEL	8.1 [MJ/kg]
	1.94 [Mcal/kg]
	0.88 [Mcal/lb]

REGULATORY AFFAIRS

CAS-No. (DL-Methionine) 59-51-8
 Customs tariff number: 230990

Mepron® is approved for use in all ruminant species according to European feed law and is labeled accordingly. Mepron® is not subject to dangerous goods regulations.

Anexo 1. Ficha técnica Mepron®.

Product Information

Mepron®

STORAGE AND STABILITY

Mepron® should be kept cool and dry in unopened original packaging. Storage conditions of 5 ° – 30 °C and 20 – 75 % rel. humidity are recommended. Under these conditions, stability and active content are guaranteed for 3 years from manufacturing date on. The manufacturing date is part of the lot number on the package label.

PACKAGING

Paper bag 2-ply + one line PE-coated, 25 kg net.
Bulk bag / FIBC, 1000 kg net.

SAFETY AND ENVIRONMENT

Mepron® can be handled safely. According to EU chemicals legislation, it is non-toxic, and, if correctly handled, it does not irritate the skin and mucous membranes. Skin sensitization has never been reported, and is unlikely to occur. Accordingly, it is not classified as a hazardous chemical. The usual regulations for safety and hygiene should be followed.

For additional information, please contact us directly.

This information and all technical and other advice are based on Evonik's present knowledge and experience. However, Evonik assumes no liability for such information or advice, including the extent to which such information or advice may relate to third party intellectual property rights. Evonik reserves the right to make any changes to information or advice at any time, without prior or subsequent notice. EVONIK DISCLAIMS ALL REPRESENTATIONS AND WARRANTIES, WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, AND SHALL HAVE NO LIABILITY FOR, MERCHANTABILITY OF THE PRODUCT OR ITS FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (EVEN IF EVONIK IS AWARE OF SUCH PURPOSE), OR OTHERWISE. EVONIK SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR CONSEQUENTIAL, INDIRECT OR INCIDENTAL DAMAGES (INCLUDING LOSS OF PROFITS) OF ANY KIND. It is the customer's sole responsibility to arrange for inspection and testing of all products by qualified experts. Reference to trade names used by other companies is neither a recommendation nor an endorsement of the corresponding product, and does not imply that similar products could not be used.

Evonik Operations GmbH
Nutrition & Care
Animal Nutrition Business Line

animal-nutrition@evonik.com
www.evonik.com/animal-nutrition

Anexo 2. Ficha técnica Mepron®.