



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL

**RESPUESTA PRODUCTIVA DE OVINOS ALIMENTADOS CON
DIETAS A BASE DE HENOS DE CANOLA Y AVENA
COMPLEMENTADOS CON ZINC ORGÁNICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

PMVZ. Julián Eduardo Vences Valdés

ASESORES

Dr. en C. Ignacio A. Domínguez Vara

Dr. en C. Daniel Trujillo Gutiérrez

Dr. en C. Ernesto Morales Almaraz



El Cerrillo Piedra Blancas, Toluca, Estado de México; junio 2025.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCION	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1 Producción de carne de ovino en México	16
2.2 Consumo <i>per cápita</i> de la carne de ovino.....	17
2.3 Factores de consumo.....	17
2.4 Origen, domesticación y taxonomía de los ovinos	18
2.5 Taxonomía	18
2.6 Sistemas de producción de ovinos en México	18
2.6.1 Sistemas de producción extensiva.....	18
2.6.2 Sistemas de producción intensiva	19
2.6.3 Sistemas de estabulación con suplementación alimenticia	20
2.7 Requerimientos nutricionales.....	20
2.7.1 Proteína cruda.....	20
2.7.2 Energía metabolizable	21
2.7.3 Vitaminas	22
2.7.4 Minerales.....	22
2.8 Efecto de la suplementación de zinc en la dieta de ovinos	23
2.9 Características nutricionales de la avena	26
2.9.1 Composición química.....	26
2.9.2 Aspectos antinutricionales.....	27

2.9.3 Beneficios específicos para rumiantes	28
2.10 Características nutricionales de la canola	28
2.10.1 Composición química.....	28
2.10.2 Aspectos antinutricionales.....	29
2.10.3 Efecto en el rendimiento sobre la producción animal	29
III. JUSTIFICACIÓN.....	30
IV. HIPÓTESIS	32
V. OBJETIVOS	33
5.1 Objetivo general.....	33
5.2 Objetivos específicos	33
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	34
6.1 Ubicación y características del área de docencia en investigación en producción animal.....	34
6.2 Animales y alojamiento	34
6.3 Determinación de la composición química.....	36
6.4 Estimación de la digestibilidad de la materia seca y producción de gas <i>in vitro</i>	36
6.5 Medición de parámetros productivos.....	37
6.6. Análisis económico de costo beneficio.....	38
6.7 Diseño experimental y análisis estadístico	38
VII. LÍMITE DE ESPACIO	40
VIII. LÍMITE DE TIEMPO.....	41
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
9.1 Respuesta productiva	42
9.2 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca.....	44
9.3 Análisis económico por el método de presupuestos parciales	45

X. CONCLUSIÓN.....	47
XI. LITERATURA CITADA.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica de la producción de carne de ovino en México.....	17
---	----

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición y aporte nutrimental de las dietas experimentales (base seca) utilizadas en la engorda de ovinos en sistema intensivo.	34
Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales (base húmeda) utilizadas en la engorda de ovinos en sistema intensivo.	35
Cuadro 3. Composición de las soluciones utilizadas en la técnica de producción de gas <i>in vitro</i>	37
Cuadro 4. Cronograma de actividades período octubre 2024 a abril de 2025.....	41
Cuadro 5. Efecto de la inclusión de dos niveles de zinc-metionina en dietas a base de forraje de canola o avena para corderos en engorda en corral sobre la respuesta productiva.	43
Cuadro 6. Efecto de la inclusión de dos niveles de zinc-metionina en dietas a base de forraje de canola o avena para corderos en engorda en corral sobre la fermentación y digestibilidad de la materia seca <i>in vitro</i> por producción de gas.....	44
Cuadro 7. Análisis económico general por presupuestos parciales de ovinos en engorda intensiva con sustitución de heno de canola por heno de avena en dietas TMR complementadas con Zn orgánico (0 y 80 mg kg ⁻¹ MS).	45

RESUMEN

El heno de canola (*Brassica napus sp*) es una fuente alternativa de nutrientes para rumiantes, este tiene un perfil de ácidos grasos insaturados que puede conferir a la carne cualidades saludables. Al respecto, la suplementación con Zn orgánico ha demostrado tener efecto lipogénico sobre la carne de ovinos. Por lo tanto, la combinación del forraje de canola con Zn-Met en dietas para corderos puede producir carne de calidad con cualidades nutraceuticas. Sin embargo, se desconoce el potencial de degradabilidad de la materia seca y los parámetros de fermentación *in vitro* de estas dietas, así como su impacto en el crecimiento y rendimiento productivo de ovinos en engorda intensiva. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la degradabilidad y producción de gas *in vitro* de la materia seca, así como la respuesta productiva de ovinos alimentados con dietas totalmente mezcladas a base de henos de canola o avena suplementadas con Zn-Met. Se formularon dietas para corderos en crecimiento y se utilizaron 32 ovinos Suffolk×Hampshire, estos se asignaron al azar en un arreglo factorial de cuatro tratamientos [2 tipos de heno (canola y avena) × 2 niveles de Zn-Met (0 y 80 mg kg⁻¹ MS)] y se alimentaron durante 11 semanas.

Se midió el consumo de materia seca, la ganancia diaria de peso, el incremento total del peso, eficiencia alimenticia, conversión alimenticia, y finalmente se realizó un análisis económico por presupuestos parciales. Se encontró que, la dieta con heno de canola + Zn-Met tuvo mayor (P<0.05) asíntota máxima de gas acumulado a las 72 h que las dietas sin Zn-Met. Se observó que todas las dietas tuvieron similar (P>0.05) punto de inflexión de la curva, tasa fraccional de degradación y pH del medio ruminal. Respecto a las variables de respuesta productiva, no se observó efecto (P>0.05) del tipo de forraje, nivel de Zn-Met. Sin embargo, hubo efecto (P<0.05) del periodo de medición para todas las variables, e interacción del tipo de forraje × el periodo de medición para CMS y CA (P<0.05). El análisis económico determinó que el costo total de la dieta con heno de canola fue 2.18% mayor que el de las dietas con heno de avena, pero en relación con el ingreso total por la venta de canales de ovinos en estado frío post matanza y faena a las 24 h, se obtuvo que fue 2.4% mayor en la dieta con heno de canola, con una diferencia bruta de 4.01% a favor de las dietas con heno de canola sin y con Zn-Met.

Se concluye que, la inclusión de heno de canola en la dieta de corderos en crecimiento combinada con Zn-Met aumentó la producción de gas *in vitro* sin afectar la degradabilidad de la materia seca y sus parámetros de fermentación. Respecto al rendimiento productivo, la utilización de heno de canola puede sustituir al heno de avena sin detrimento de la ganancia diaria de peso, consumo voluntario, eficiencia y conversión alimenticia. Finalmente, la inclusión de heno de canola en dietas para corderos en engorda intensiva mejoró en 4% el ingreso por venta de canales frías, esto último resulta ser importante, ya que determina el precio que el comprador está dispuesto a pagar.

Palabras clave: Zn-metionina, heno de canola, heno de avena, corderos, ingreso.

ABSTRACT

Canola hay (*Brassica napus* sp) is an alternative source of nutrients for ruminants. Its unsaturated fatty acid profile can confer healthy meat qualities. In this regard, organic zinc supplementation has been shown to have a lipogenic effect on sheep meat. Therefore, combining canola forage with zinc-met in lamb diets can produce quality meat with nutraceutical qualities. However, the potential for dry matter degradability and *in vitro* fermentation parameters of these diets, as well as their impact on the growth and productive performance of intensively fattened sheep, are unknown. Therefore, the objective of this research was to evaluate the *in vitro* degradability and gas production of dry matter, as well as the productive response of sheep total mixed rations based on canola or oat hay supplemented with Zn-Met. Diets for growing lambs were formulated and 32 Suffolk×Hampshire sheep were randomly assigned in a factorial arrangement of four treatments [2 hay types (canola and oats) × 2 Zn-Met levels (0 and 80 mg kg⁻¹ DM)] and fed for 11 weeks.

Dry matter intake, daily weight gain, total weight gain, feed efficiency and feed conversion were averaged, and finally, an economic analysis was estimated by partial budgets. It was found that the diet with canola hay + Zn-Met had a higher (P<0.05) maximum asymptote of accumulated gas at 72 h than diets without Zn-Met. It was observed that all diets had a similar (P>0.05) inflection point of the curve, fractional degradation rate and pH of the ruminal medium. Regarding the productive response variables, no effect (P>0.05) of forage type or Zn-Met level was observed. However, there was an effect (P<0.05) of the measurement period for all variables, and an interaction of forage type × measurement period for DMI and FC (P<0.05). The economic analysis determined that the total cost of diets with canola hay were 2.18% higher than diets with oat hay, but in relation to the total income from the sale of sheep carcasses in a cold state post-slaughter and slaughter at 24 h, it was found to be 2.4% higher in diets with canola hay, with a gross difference of 4.01% in favor of diets with canola hay without and with Zn-Met.

It is concluded that the inclusion of canola hay in the diet of growing lambs combined with Zn-met increased *in vitro* gas production without affecting dry matter degradability and fermentation parameters. Regarding production performance, the use of canola hay can

replace oat hay without detriment to daily weight gain, feed intake, efficiency, and feed conversion. Finally, the inclusion of canola hay in diets for intensively fattened lambs improved the sale of cold carcasses by 4%. The latter is important, as it determines the price the buyer is willing to pay.

Keywords: Zn-methionine, rape hay, oat hay, lambs, income.

I. INTRODUCCION

En el contexto global y nacional, la seguridad alimentaria es un desafío importante, especialmente en países como México, donde la demanda de productos animales, como la carne, está en constante crecimiento. A nivel mundial, la carne es una fuente vital de proteínas, vitaminas y minerales esenciales para la nutrición humana, y su producción eficiente es crucial para satisfacer la demanda de una población en crecimiento (Padilla y Padilla, 2024). En México, el consumo *per cápita* de carne ha mostrado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, posicionando al país entre los principales consumidores y productores de carne a nivel mundial (Vargas-Bello-Pérez *et al.*, 2023). Este crecimiento ha sido impulsado por un aumento en la producción de pollo, cerdo y res, lo que ha generado la necesidad de mejorar la eficiencia en los sistemas de producción ganadera (Juárez-Corral, 2023). La producción ovina, aunque menos significativa, juega un papel importante en ciertas regiones, enfocándose en maximizar la eficiencia alimentaria para satisfacer la demanda de carne de oveja (Ibarrola Rivas *et al.*, 2022). En estos sistemas, la alimentación es crucial, ya que los costos asociados representan un alto porcentaje del costo total de producción (Fraire-Cordero *et al.*, 2023).

Por otra parte, la suplementación mineral en la dieta de rumiantes con zinc (Zn), ha ganado atención debido a sus múltiples funciones biológicas y su impacto en la productividad ovina. El zinc es un micromineral esencial que participa en procesos metabólicos como la síntesis de proteínas, la división celular y el metabolismo de carbohidratos y lípidos (Nakamura *et al.*, 2023). La deficiencia de zinc en rumiantes puede resultar en una reducción significativa del rendimiento productivo, afectando la salud y el crecimiento (Sofi'ul Anam *et al.*, 2024). Además, la suplementación de zinc no solo tiene implicaciones para la salud, sino que también mejora la eficiencia dietética, un objetivo clave en la producción animal (Juárez y Padilla-Cuevas, 2024). Se ha demostrado que la suplementación adecuada de zinc puede aumentar la actividad enzimática en el rumen y la abundancia de especies bacterianas benéficas, lo que contribuye a una mejor digestión y absorción de nutrientes (Sofi'ul Anam *et al.*, 2024; Meng *et al.*, 2024).

La suplementación con zinc, ha demostrado ser crucial para mejorar el rendimiento productivo en animales de granja, particularmente en sistemas de producción intensiva. Dado

este escenario, el uso de zinc metionina (ZnMet), una forma orgánica de zinc ha ganado relevancia. Estudios como el de Camargo *et al.* (2023) han demostrado que el ZnMet posee una mayor biodisponibilidad en comparación con fuentes inorgánicas, lo que permite una mejor absorción y utilización del zinc por parte del organismo, favoreciendo el aumento de peso y la conversión alimenticia en ovejas; asimismo, al comparar la biodisponibilidad del zinc metionina hidroxí análogo (Zn-MHAC) frente a un complejo de aminoácidos (Zn-AAC) en cerdos, encontrando que el Zn-MHAC se absorbía mejor en tejidos clave como el hígado y los tejidos reproductivos. Estos hallazgos sugieren que el uso de ZnMet puede ser más efectivo para la nutrición animal, sobre todo en sistemas intensivos donde se busca maximizar la eficiencia alimentaria. Lawrence *et al.* (2024), documentaron mejoras en la eficiencia alimentaria y el crecimiento en cerdos suplementados con minerales traza orgánicos, lo que podría extrapolarse a ovejas. Finalmente, Eren *et al.* (2024) concluyen que el uso de fuentes de zinc más biodisponibles, como el ZnMet, optimiza el uso de recursos alimentarios, mejorando la rentabilidad en sistemas de producción intensiva.

El uso de zinc en la dieta de los ovinos puede mejorar la digestibilidad de los nutrientes, lo que es crucial para la producción animal. La suplementación con zinc, especialmente en forma de ZnMet, ha demostrado aumentar la actividad de enzimas ruminales y la abundancia de especies bacterianas benéficas, el zinc es un cofactor importante en más de 300 metaloenzimas (Smith y Akinbamizo, 2000), algunas involucradas en el metabolismo de carbohidratos, proteínas y lípidos, tales como la hexoquinasa/glucoquinasa que cataliza la fosforilación de la glucosa, iniciando la glucólisis. La fosfofructoquinasa-1 es una enzima clave que regula la conversión de fructosa-6-fosfato en fructosa-1,6-bisfosfato. La aldolasa facilita la escisión de fructosa-1,6-bisfosfato en gliceraldehído-3-fosfato y fosfato de dihidroxiacetona. La piruvato quinasa convierte el fosfoenolpiruvato en piruvato, un paso fundamental en la glucólisis. Por último, la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa interviene en la ruta del pentosofosfato y genera NADPH para reacciones biosintéticas, lo que contribuye a una mejor digestión de proteínas y lípidos (Sofi'ul Anam *et al.*, 2024). Otras metaloenzimas con Zn están relacionadas con el metabolismo de lípidos (Vierboom *et al.* 2003). La deposición de GIM está regulada principalmente por el metabolismo de los lípidos, determinando así el equilibrio entre su almacén y remoción en el músculo LD. Por lo tanto, la expresión de genes del metabolismo de lípidos incluye aquellas enzimas involucradas en

los procesos lipogénicos [acetil-CoA carboxilasa (ACC) y AG sintasa (FASN)], captación de AG [lipoproteína lipasa (LPL)], esterificación de AG [glicerol -3- fosfato aciltransferasa (GPAT1), aciltransferasa diglicérido (DGAT1)] y lipólisis de AG [hormona sensitiva lipasa (HSL) y monoglicérido lipasa (MGL)] (Malcolm-Callis et al. 2000), las cuales influyen en la GIM y marmoleo de la carne de bovinos (Spears y Kegley, 2002), y en GIM, marmoleo, terneza y contenido de AG de la carne de ovinos (Rodríguez-Maya et al. 2019). Recientemente, Guerrero-Bárcena et al. (2023) identificaron que el Zn orgánico (ZnMet) influyó en la abundancia de la expresión relativa de ARNm de genes involucrados en el metabolismo (lipogénesis, captación, esterificación y lipólisis) de los ácidos grasos del músculo *longissimus dorsi*.

Además, la suplementación de zinc en ovejas durante la gestación y la lactancia incrementa la ingesta de alimento y mejora parámetros sanguíneos, lo que se traduce en un mejor crecimiento y eficiencia alimentaria (Khorrami *et al.*, 2024). Por lo tanto, la inclusión de zinc en la dieta ovina es esencial para optimizar la absorción de nutrientes, crecimiento y respuesta productiva.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción de carne de ovino en México

Las principales regiones de producción de carne de ovino en México están concentradas en los estados centrales, siendo el Estado de México el líder con una producción de 9,447 t. de carne, le siguen Hidalgo, con 6,853 t. de carne, y Veracruz, con 6,030 t. de carne. Este patrón refleja una clara concentración geográfica en ciertas áreas del país, que puede atribuirse a factores como las condiciones climáticas favorables, la disponibilidad de recursos naturales y las tradiciones ganaderas profundamente arraigadas en estas regiones. Por otro lado, en veintidós estados, la producción es significativamente menor, con menos de 2,000 t anuales de carne, lo que resalta las disparidades regionales en la producción ovina. Esta distribución desigual sugiere que, en algunas zonas, las condiciones no son tan propicias para el desarrollo de la actividad ganadera, lo que impacta en su capacidad productiva (Vargas-Bello-Pérez *et al.*, 2023; COMECARNE, 2024).

En 2023, el comercio internacional de carne de ovino experimentó cambios significativos. Las exportaciones cayeron 93.9%, rompiendo la tendencia al alza observada desde 2018, mientras que las importaciones aumentaron un 105% después de varios años de declive desde 2017. El valor total del comercio internacional de carne de ovino en México alcanzó los 22.565 millones de dólares, con importaciones que representaron 22.5 millones de dólares y exportaciones que sumaron 287 mil dólares (COMECARNE, 2024). Este cambio en el comercio indica que a pesar del aumento de la producción nacional no es suficiente para satisfacer la demanda interna. Esto puede atribuirse a limitaciones en la capacidad de producción y a costos elevados (Vargas-Bello-Pérez *et al.*, 2023; López-Rodríguez *et al.*, 2023).



INEGI (2023).

Figura 1. Distribución geográfica de la producción de carne de ovino en México.

2.2 Consumo *per cápita* de la carne de ovino

Según el Compendio Estadístico 2024 del Consejo Mexicano de la Carne, la ingesta de carne de oveja por persona en México cifró 567 g en 2023, la cual resultó excedente en 5.3 % a la del año previo (COMECARNE, 2024). Este aumento puede atribuirse a varios factores que influyen en los patrones de producción y consumo en el país.

2.3 Factores de consumo

La alimentación y el manejo adecuados de los ovinos son esenciales para mejorar la calidad de la carne producida. Los factores nutricionales influyen directamente en la cantidad y calidad de los nutrientes que se incorporan en el músculo, afectando durante el proceso de matanza, faena y maduración los atributos de la carne como la textura, jugosidad y grasa intramuscular. Además, un buen manejo de los ovinos, que incluye prácticas como el control sanitario y la selección genética, también contribuyen a obtener productos cárnicos de mayor calidad. Diversos estudios han demostrado que los consumidores prefieren carne de mayor calidad, lo que puede incentivar su compra y aumentar el consumo de carne ovina en el mercado. Por lo tanto, mejorar la alimentación y manejo de los ovinos es clave para satisfacer

la demanda creciente y promover el consumo de carne ovina en México (Pedroza-Ortega, 2024).

2.4 Origen, domesticación y taxonomía de los ovinos

La domesticación de las ovejas tiene sus raíces en la Península Ibérica, donde se han identificado eventos significativos a través de análisis de ADN antiguo y estudios arqueológicos. La investigación sugiere que las ovejas fueron introducidas en la región durante el Neolítico, siendo cruciales para las primeras sociedades agrícolas (Sierra et al., 2019). Restos de ovejas encontrados en sitios neolíticos como Cova de Els Trocs indican que pertenecen al haplotipo mitocondrial B, lo que sugiere una historia demográfica compleja (Serrano *et al.*, 2022). La domesticación de las ovejas se asocia con la hibridación entre especies salvajes y domésticas, influyendo en su genética y características morfológicas (Chen *et al.*, 2021). Estos hallazgos subrayan la importancia de las ovejas en la transición hacia economías agrícolas y el desarrollo social en la Península.

2.5 Taxonomía

Las ovejas domésticas (*Ovis aries*) presentan una notable diversidad genética y han sido clasificadas en diversas razas, como la Merina española, que se ha seleccionado por su calidad de lana desde la época romana (Granero *et al.*, 2022). Esta diversidad genética es particularmente significativa en las razas españolas, donde las líneas históricas muestran diferencias notables en comparación con las razas modernas. Estos hallazgos indican que la domesticación y selección de las ovejas han influido en su variabilidad genética a lo largo del tiempo, lo que es crucial para su conservación y mejora en la producción.

2.6 Sistemas de producción de ovinos en México

2.6.1 Sistemas de producción extensiva

La producción ovina en México se caracteriza por estar predominantemente basada en sistemas extensivos, especialmente en regiones como el Altiplano de Michoacán, Campeche y otras áreas del país. Estos sistemas se fundamentan en el aprovechamiento de pastos naturales, esquilmos agrícolas y residuos de cosecha como fuente de alimentación para los

ovino (Carpio, 2014). En estos sistemas extensivos, prevalece la cría del ovino Criollo, una raza rústica, pero con niveles productivos relativamente bajos en cuanto a lana y carne. A nivel nacional, se destacan ventajas de estos sistemas, como la adaptabilidad a recursos forrajeros mínimos, la excelente aptitud materna de las ovejas y la diversidad de razas disponibles para adaptarse a diferentes condiciones (Carpio, 2014).

2.6.2 Sistemas de producción intensiva

Los sistemas de producción ovina intensiva en México han crecido significativamente debido a su enfoque en la optimización de recursos y la mejora en la producción de carne. Estos sistemas, aunque menos comunes que los extensivos, están cada vez más adoptados por productores que buscan aumentar la eficiencia productiva y la rentabilidad (Carpio, 2014). Los sistemas intensivos también han mostrado un rendimiento significativo, mejorando la genética y la gestión del rebaño, lo que ha aumentado la cantidad de corderos destetados por oveja (Magaña-Monforte *et al.*, 2024). Este tipo de enfoque permite a los productores obtener mejores resultados en cuanto a la producción de carne y lana de alta calidad. A pesar de sus beneficios en términos de productividad, los sistemas intensivos enfrentan serios retos en cuanto a sostenibilidad. Un estudio realizado en Michoacán mostró que solo el 42.3% de las unidades de producción ovina intensiva alcanzan niveles adecuados de sostenibilidad agroecológica (Nuncio-Ochoa *et al.*, 2024). Este desafío requiere la implementación de prácticas más sostenibles, especialmente en el uso de insumos y la gestión ambiental. Uno de los principales obstáculos en estos sistemas es la gestión del parasitismo, que puede afectar gravemente la salud y la productividad del rebaño si no se maneja correctamente (Bañuelos *et al.*, 2023). Además, se han identificado oportunidades para mejorar la nutrición y los programas de cría, lo que podría aumentar la eficiencia de producción y la sostenibilidad a largo plazo (Vargas-Bello-Pérez *et al.*, 2023). El éxito de los sistemas intensivos no solo depende de la tecnología y el manejo del rebaño, sino también de la viabilidad económica, la cual está sujeta al costo y disponibilidad de alimentos concentrados, como el grano, y al precio de venta de los productos (Carpio, 2014).

2.6.3 Sistemas de estabulación con suplementación alimenticia

En México, los sistemas de producción ovina semi intensivos se caracterizan por un enfoque intermedio entre la producción extensiva y la intensiva. En estos sistemas, las ovejas tienen acceso a pastoreo limitado y se complementan con alimentación adicional, como ensilado, para mejorar la productividad, especialmente en épocas secas (Medina *et al.*, 2024). Combina el pastoreo con la suplementación alimentaria, permitiendo un manejo más controlado de la nutrición y la salud de los animales (Magaña-Monforte *et al.*, 2024). Este cuenta con las siguientes características:

2.7 Requerimientos nutricionales

Las necesidades nutricionales de los ovinos varían significativamente a lo largo de las diferentes etapas de crecimiento, abarcando energía, proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas, minerales y agua. Particularmente, durante la etapa de engorda, los requerimientos nutricionales se enfocan en maximizar el crecimiento muscular y la ganancia de peso (Lu, 2024; Avellaneda *et al.*, 2024). Además de los macronutrientes, los micronutrientes como vitaminas y minerales también juegan un papel crucial en el crecimiento y desarrollo de los corderos en engorda. Se recomienda incluir cantidades adecuadas de calcio, fósforo, magnesio, y vitaminas A, D y E para asegurar una salud general robusta y un sistema inmunológico fuerte, lo que a su vez mejora la eficiencia alimenticia y reduce la mortalidad (NRC, 2007).

2.7.1 Proteína cruda

Las proteínas son un componente vital en la dieta de los corderos. Lu (2024) destaca que la calidad de la proteína es fundamental para el crecimiento y desarrollo de los tejidos. Los corderos requieren una cantidad significativa de proteínas durante sus primeras etapas de vida, cuando el crecimiento es más acelerado. Las fuentes de proteína deben ser seleccionadas cuidadosamente para asegurar que se suministren aminoácidos esenciales. Esto implica el uso de forrajes de alta calidad y suplementos proteicos que puedan satisfacer las necesidades específicas de los corderos en crecimiento. En este sentido, los corderos en engorda necesitan aproximadamente 12-14% de proteína cruda en su dieta para asegurar un crecimiento óptimo y el desarrollo muscular adecuado (NRC, 2007). Además, es crucial que

las fuentes de proteína incluyan aminoácidos esenciales como la lisina y la metionina, que son fundamentales para el crecimiento y la salud general de los corderos. Una dieta bien formulada debe incluir forrajes de alta calidad y concentrados proteicos que proporcionen estos nutrientes esenciales.

2.7.2 Energía metabolizable

La energía es uno de los componentes más críticos en la dieta de los corderos. Según Lu (2024), los requerimientos energéticos se determinan por factores como el peso corporal y la tasa de crecimiento, lo que significa que a medida que los corderos crecen, sus necesidades energéticas aumentan. Este aumento en la demanda energética es esencial para soportar el crecimiento muscular y el desarrollo de tejidos. La energía en la dieta puede provenir de carbohidratos y grasas, siendo los carbohidratos la principal fuente de energía. La selección de forrajes y concentrados de alta calidad es crucial para garantizar que los corderos reciban la energía necesaria para un crecimiento óptimo. Según el NRC (2007) los corderos en crecimiento requieren de 2.4 a 2.7 Mcal EM kg/MS.

Los carbohidratos son la principal fuente de energía en la dieta de los corderos y deben ser proporcionados en cantidades adecuadas para satisfacer sus necesidades energéticas. De acuerdo con el (NRC 2007), los carbohidratos, que incluyen azúcares, almidones y fibra, son fundamentales no solo para el crecimiento, sino también para el mantenimiento de las funciones corporales básicas y la producción. Los carbohidratos fácilmente digestibles, como los azúcares y almidones, proporcionan energía rápida, mientras que la fibra contribuye a la salud digestiva. En términos de cantidades, el NRC (2007) sugiere que los corderos en crecimiento requieren aproximadamente entre 60 y 70% de su ingesta total de materia seca en forma de carbohidratos para asegurar un crecimiento y desarrollo óptimos. La inclusión de grasas en la dieta puede aumentar la densidad energética sin aumentar significativamente el volumen de la dieta, lo cual es beneficioso en dietas de alto rendimiento. Generalmente, se recomienda que las grasas no excedan 6-7% de la materia seca total de la dieta para evitar problemas digestivos y asegurar una adecuada absorción de nutrientes (NRC, 2007).

2.7.3 Vitaminas

Las vitaminas son nutrientes esenciales que deben incluirse en la dieta de los corderos. Avellaneda *et al.* (2024) enfatizan la importancia de las vitaminas, ya que su deficiencia puede llevar a problemas de salud significativos. Las vitaminas A, D y E son cruciales para el crecimiento óseo, la función inmunológica y la reproducción. La inclusión de estas vitaminas en la dieta es fundamental para asegurar que los corderos se desarrollen de manera saludable y eficiente.

Las vitaminas A, D y E son esenciales para el desarrollo saludable de los corderos. Las cantidades recomendadas para estas vitaminas son las siguientes (NRC, 2007):

- **Vitamina A:** Se recomienda una ingesta de 2,200 a 3,300 UI por kilogramo de materia seca (MS) para corderos en crecimiento.
- **Vitamina D:** La dosis recomendada es de 275 a 550 UI por kilogramo de MS para corderos.
- **Vitamina E:** Se sugiere una ingesta de 15 a 30 UI por kilogramo de MS para corderos en crecimiento.

Estas cantidades aseguran que los corderos reciban los nutrientes necesarios para un crecimiento óseo adecuado, una función inmunológica óptima y una reproducción saludable (NRC, 2007).

2.7.4 Minerales

Los minerales también son nutrientes esenciales que deben estar presentes en la dieta de los corderos. Avellaneda *et al.* (2024) destacan que los minerales como calcio, fósforo y magnesio son importantes para la salud general y el crecimiento de los corderos. La deficiencia de minerales puede provocar problemas de salud graves, lo que resalta la necesidad de una dieta equilibrada que incluya estos micronutrientes.

Los minerales son esenciales para la salud y el crecimiento de los corderos. Las cantidades recomendadas según el NRC (2007) son:

- **Calcio:** Se recomienda una ingesta de 0.4% a 0.8% de la materia seca (MS) en la dieta de los corderos.
- **Fósforo:** La dosis recomendada es de 0.2% a 0.4% de la MS.
- **Magnesio:** Se sugiere una ingesta de 0.12% a 0.18% de la MS.
- **Sodio y Cloro:** Estos minerales son importantes para el equilibrio de los fluidos y la función nerviosa. Se recomienda una ingesta de 0.1% a 0.2% de la materia seca (MS) para sodio y cloro.
- **Potasio:** Necesario para la función muscular y nerviosa, así como para el equilibrio de los fluidos. La dosis recomendada es de 0.5% a 0.8% de la MS.
- **Azufre:** Importante para la síntesis de aminoácidos y vitaminas. Se sugiere una ingesta de 0.15% a 0.25% de la MS.
- **Cobre:** Esencial para la formación de hemoglobina y la función enzimática. La dosis recomendada es de 10 a 20 mg/kg de MS.
- **Zinc:** Importante para la salud enzimática, con una ingesta recomendada de 20 a 40 mg/kg de MS. Sus funciones ya han sido detalladas en la sección de suplementación de zinc.
- **Selenio:** Importante para la función antioxidante y la salud reproductiva. La dosis recomendada es de 0.1 a 0.3 mg/kg de MS.

Estos minerales son cruciales para asegurar un crecimiento adecuado, una buena salud ósea y una función metabólica eficiente en los corderos (NRC, 2007).

2.8 Efecto de la suplementación de zinc en la dieta de ovinos

El zinc es un mineral esencial que desempeña múltiples funciones en el metabolismo animal, siendo particularmente importante en el crecimiento, la inmunidad y la reproducción de los rumiantes. Diversos estudios han evaluado los efectos de la suplementación de zinc en ovinos, observando impactos significativos en la salud y el rendimiento productivo. Estos estudios permiten analizar cómo la adición de zinc en la dieta puede influir en la ganancia de peso, la calidad de la carne, la reproducción y otros parámetros fisiológicos de los ovinos (Guerrero-Bárcena *et al.*, 2023; Espinoza-Santillán, 2017; Rodríguez-Gaxiola *et al.*, 2015 (A); Márquez-Hernández, 2020). El uso de zinc orgánico y metionina de zinc ha sido ampliamente estudiado para mejorar el rendimiento productivo de los ovinos en sistemas de

engorda intensiva. En un estudio que evaluó la suplementación con metionina de zinc y el clorhidrato de zilpaterol, se observó un aumento en el área del ojo de la chuleta y una mayor proporción de músculo en la canal, lo que indica que el zinc mejora la eficiencia de conversión alimenticia (Guerrero-Bárcena *et al.*, 2023). Este efecto lisogénica atribuido al zinc también se reflejó en un aumento del contenido de grasa intramuscular, lo que resulta en una mejor calidad de la carne sin afectar negativamente el crecimiento. En términos de productividad, se ha reportado que la suplementación de zinc puede influir positivamente en la ganancia diaria de peso en corderos. Un estudio sobre el uso de zinc orgánico en dietas ovinas indicó que los corderos suplementados mostraron una mejor eficiencia alimentaria y una mayor retención de nitrógeno, lo que respalda la hipótesis de que el zinc orgánico puede mejorar la síntesis de proteínas y la deposición de músculo (Espinoza-Santillán, 2017). La capacidad del zinc para mejorar la retención de nutrientes se debe en gran parte a su papel en el metabolismo de proteínas y lípidos, donde actúa como cofactor de varias enzimas clave.

El estudio de Rodríguez-Gaxiola *et al.* 2015 (B) sugiere que la suplementación con zinc metionina puede mejorar el rendimiento de crecimiento y las características de la canal en ganado, lo que podría extrapolarse a la producción ovina. Aunque el enfoque del estudio es sobre toros de carne, los principios de la suplementación con zinc y su efecto sobre el crecimiento y la calidad de la carne son aplicables a los ovinos, lo que puede enriquecer la discusión sobre la suplementación de minerales en las dietas ovinas. Además, la suplementación con zinc también ha mostrado tener un impacto positivo en la calidad del semen y la reproducción. Un estudio realizado en ovinos de la raza Hampshire investigó el efecto del zinc orgánico en la calidad del semen, encontrando que la suplementación con zinc mejoró significativamente la motilidad y viabilidad espermática, además de reducir los defectos morfológicos en los espermatozoides (Espinoza-Santillán, 2017). Esto sugiere que el zinc juega un papel crucial en la espermatogénesis, posiblemente al mejorar la función de las células de Sertoli y la integridad de la membrana espermática.

La suplementación con zinc orgánico también ha demostrado tener un impacto positivo en la digestibilidad de los nutrientes. En un estudio que evaluó el efecto del complemento alimenticio con y sin zinc orgánico en ovinos en pastoreo de pradera de rye grass, se encontró que la suplementación con zinc mejoró la digestibilidad de la materia seca y la proteína cruda (Márquez-Hernández, 2020). Esto podría deberse a que el zinc actúa como cofactor en varias

enzimas digestivas, facilitando la descomposición de los nutrientes y su posterior absorción. Como resultado, los ovinos suplementados con zinc muestran una mayor eficiencia alimenticia, lo que significa que requieren menos alimento para ganar la misma cantidad de peso en comparación con los animales no suplementados. Además, se ha demostrado que la suplementación con zinc puede influir en la salud ruminal de los ovinos. El zinc es esencial para el mantenimiento de la integridad de las paredes del rumen y la función de las bacterias ruminales, lo que contribuye a una mejor fermentación y utilización de los nutrientes (Guerrero-Bárcena *et al.*, 2023). Esto es particularmente importante en sistemas de pastoreo donde la calidad del forraje puede variar, y el zinc ayuda a optimizar el uso de los nutrientes disponibles.

Otro aspecto clave de la suplementación con zinc en ovinos es su impacto en la calidad de la carne, especialmente en el perfil de ácidos grasos. En estudios recientes, se ha observado que la adición de zinc metionina en la dieta de ovinos en engorda intensiva aumenta el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido linoleico conjugado (CLA) y el ácido eicosatetraenoico, ambos conocidos por sus beneficios para la salud humana (Guerrero-Bárcena *et al.*, 2023). Estos cambios en el perfil de ácidos grasos hacen que la carne de ovino suplementada con zinc sea más saludable para el consumo humano, al reducir el contenido de ácidos grasos saturados y aumentar los ácidos grasos insaturados. El zinc también influye en la estabilidad del color de la carne y en la capacidad de retención de agua, dos características importantes para los consumidores. Un estudio observó que los ovinos suplementados con zinc metionina presentaron una mejor capacidad de retención de agua, lo que mejora la jugosidad de la carne y reduce las pérdidas por goteo durante el almacenamiento (Guerrero-Bárcena *et al.*, 2023). Además, el zinc puede retardar el proceso de oxidación de lípidos en la carne, lo que contribuye a mantener un color más atractivo y evitar el desarrollo de olores desagradables durante el almacenamiento.

En términos de eficacia, la suplementación con zinc en dietas de rumiantes ha demostrado ser una estrategia viable para mejorar la salud y productividad animal, siempre que se utilicen dosis adecuadas. Sin embargo, es importante considerar la seguridad de la suplementación, ya que niveles excesivos de zinc pueden resultar en toxicidad. Un estudio de revisión sobre la suplementación de zinc en dietas de rumiantes enfatizó la importancia de formular dietas balanceadas que consideren tanto la biodisponibilidad del zinc como las interacciones con

otros minerales (Espinoza-Santillán, 2017). El zinc orgánico, como el zinc metionina, tiene una mayor biodisponibilidad que el zinc inorgánico, lo que permite su absorción eficiente en el tracto gastrointestinal sin el riesgo de formar complejos insolubles con otros nutrientes. Además, se ha documentado que el exceso de zinc en la dieta puede interferir con la absorción de otros minerales esenciales, como el cobre y el hierro, lo que puede comprometer la salud del animal a largo plazo (Márquez-Hernández, 2020). Por lo tanto, es crucial ajustar las dosis de zinc de acuerdo con los requerimientos nutricionales específicos de los ovinos y monitorear constantemente los niveles de minerales en la dieta para evitar desequilibrios nutricionales.

El zinc interactúa con otros nutrientes y aditivos en la dieta de los ovinos, lo que puede potenciar o disminuir sus efectos. En particular, la interacción entre el zinc y los β -agonistas como el clorhidrato de zilpaterol ha sido objeto de estudio. Un artículo evaluó cómo la combinación de zinc metionina y zilpaterol afecta el crecimiento y la calidad de la carne en ovinos, concluyendo que, aunque el zilpaterol promueve el crecimiento muscular, su efecto lipolítico puede reducir el contenido de grasa intramuscular. Sin embargo, la adición de zinc metionina compensó este efecto, aumentando la grasa intramuscular y mejorando la calidad de la carne (Guerrero-Bárcena *et al.*, 2023). Estas interacciones son importantes para maximizar el rendimiento productivo y la calidad de la carne en ovinos. El zinc no solo mejora la absorción de nutrientes, sino que también puede modular la actividad de otros compuestos en la dieta, lo que hace que su suplementación sea una herramienta valiosa en la formulación de dietas balanceadas para ovinos en sistemas de producción intensiva y extensiva.

2.9 Características nutricionales de la avena

La avena (*Avena sativa*) es una opción común en la alimentación de rumiantes debido a sus propiedades nutrimentales y su efecto en la salud y el rendimiento animal.

2.9.1 Composición química

Proteína cruda (PC): Varía entre 3.9% y 8.8% en base a materia seca.

Fibra cruda (FC): Oscila entre 22.1% y 35.2%.

Extracto Nitrogenado Libre (ENL): Se encuentra entre 50.0% y 66.0%.

Nutrientes Digestibles Totales (NDT): Rango de 50.3% a 63.8% (Mazumder *et al.*, 2004).

Aporte energético. La avena es una fuente significativa de energía para los rumiantes. La energía neta para mantenimiento (ENM) y los nutrientes digestibles totales (NDT) son cruciales para evaluar su valor energético. La avena tiene un valor calórico promedio de 18.7 MJ·kg⁻¹, con variaciones según la fertilización nitrogenada y la variedad (Tobiasz-Salach *et al.*, 2023; Pinto *et al.*, 2021). Además, las variedades de avena con bajo contenido de lignina son más eficientes en la conversión del alimento (Rowe *et al.*, 2000). La avena muestra una mayor digestibilidad de la materia seca (DM) y de la materia orgánica (OM) en comparación con otros forrajes (An *et al.*, 2020; Pachauri *et al.*, 1997).

2.9.2 Aspectos antinutricionales

El heno de avena presenta algunos factores antinutricionales como la lignina y la fibra indigerible. La lignina es un polímero estructural que reduce la digestibilidad de los nutrientes. Un estudio demostró que dietas con bajo contenido de lignina presentaron una digestibilidad de materia orgánica 15% mayor que aquellas con alto contenido de lignina. La fibra indigerible limita la absorción de nutrientes debido a su baja fermentabilidad en el rumen (Andersen, 2022).

Por otra parte, los compuestos conocidos como oxalatos presentes en heno de avena y canola actúan como factores antinutricionales al unirse a minerales como calcio y magnesio, formando complejos insolubles que reducen su absorción en el sistema digestivo de los animales. Los oxalatos están presentes en diversas especies forrajeras, pero su concentración varía considerablemente entre cultivos. En el caso específico de la avena (*Avena sativa*), los niveles de oxalatos son generalmente bajos (menores al 0.5% de la materia seca), mientras que en *Brassica* spp. como la canola pueden alcanzar niveles moderados (0.5–1.5% de la MS), dependiendo de la variedad, etapa de crecimiento y condiciones agronómicas. Según Rahman *et al.* (2013), estas concentraciones no representan un riesgo significativo para rumiantes cuando las dietas están bien formuladas y equilibradas en minerales, como fue el caso de las dietas suministradas a los ovinos en el presente estudio, por lo tanto, los oxalatos probablemente no fueron un factor nutricionalmente limitante.

2.9.3 Beneficios específicos para rumiantes

La avena mejora la digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica, lo que favorece la producción de leche (An *et al.*, 2020). La inclusión de avena en la dieta de ovejas ha demostrado incrementar la ganancia diaria de peso (Ramírez *et al.*, 2018; Su *et al.*, 2022). La avena mantiene un pH ruminal más estable, promueve la diversidad microbiana y aumenta la producción de ácidos grasos beneficiosos (Su *et al.*, 2022). Durante la gestación, el heno de avena mejora el peso al nacer de los corderos y el crecimiento del vellón en las ovejas (Masters *et al.*, 1996). Durante la lactancia, la avena combinada con suplementos favorece la producción de leche y el crecimiento de los corderos (Dixon *et al.*, 1991). En corderos en crecimiento, la avena puede aumentar la ganancia de peso, especialmente en dietas con heno cosechado en etapas tempranas de madurez (Ramírez *et al.*, 2018).

Microbioma del Rumén. La avena promueve una mayor abundancia de bacterias beneficiosas, como Bacteroidetes y Ruminococcaceae, que son esenciales para la salud digestiva (Su *et al.*, 2022). Sin embargo, es importante considerar que la respuesta de los animales puede variar según la composición química del forraje y la etapa de madurez en la cosecha, lo que puede influir en el rendimiento (Ramírez *et al.*, 2018).

2.10 Características nutricionales de la canola

La canola (*Brassica napus*). La canola es una planta ampliamente utilizada en la alimentación animal, particularmente en rumiantes, debido a su alto contenido proteico y energético.

2.10.1 Composición química

Proteína cruda (PC). La canola presenta un contenido de proteína cruda entre 1398 y 2260 kg ha⁻¹ (Reta-Sánchez *et al.*, 2016).

Energía neta para la lactación (NEL): Sus rendimientos oscilan entre 29,248 y 54,487 MJ ha⁻¹ (Reta-Sánchez *et al.*, 2016).

Aporte energético. La canola ofrece un suministro significativo de energía para rumiantes. La inclusión de canola en la dieta mejora la digestibilidad de la materia orgánica y aumenta

la eficiencia microbiana (Leupp *et al.*, 2006). Además, su contenido energético contribuye a una mayor producción de leche y ganancia de peso (Hussein *et al.*, 1995).

2.10.2 Aspectos antinutricionales

La canola contiene lignina y fibra indigerible que pueden afectar la digestibilidad (Safaei, Rouzbehan, & AghaAlikhani, 2022). Estos componentes estructurales limitan la eficiencia alimentaria y pueden reducir la palatabilidad (Andersen, 2022). Sin embargo, manejando adecuadamente la densidad de plantación y la dieta, es posible mitigar estos efectos (Reta-Sánchez *et al.*, 2016).

2.10.3 Efecto en el rendimiento sobre la producción animal

La alimentación de ovinos con heno de canola presenta varias ventajas en comparación con otros forrajes. En primer lugar, el heno de canola tiene una alta digestibilidad y retención de nutrientes, lo que se traduce en un mejor rendimiento en la producción de carne y lana (Malau-Aduli *et al.*, 2009). Además, se ha observado que la inclusión de subproductos de canola en la dieta puede mejorar la eficiencia de conversión alimenticia, permitiendo un mayor consumo de materia seca (Santos *et al.*, 2009; Agbossamey *et al.*, 1998).

Ganancia de peso diaria promedio (ADG). El uso de harina de canola en la dieta ha demostrado aumentar la ganancia diaria en un 60.2% en comparación con dietas control (Plaisance y Rioux, 1996).

Características de la canal. La canola también mantiene características de canal comparables a las de otros suplementos proteicos sin afectar negativamente la calidad de la carne (Santos *et al.*, 2009). **Gestación.** La harina de canola durante las últimas semanas de gestación mejora la producción de lana y el aumento de peso en las ovejas, aunque los corderos pueden nacer más ligeros (Masters y Mata, 1995). **Lactancia.** Mejora significativamente el rendimiento lácteo y la composición de la leche, aumentando los niveles de grasa y proteína (Kassab *et al.*, 2009). **Crecimiento.** El heno de canola es una fuente clave de nutrientes para corderos en crecimiento, ofreciendo un balance adecuado de proteínas y energía (Carneiro *et al.*, 2022).

III. JUSTIFICACIÓN

El uso de aditivos en la alimentación animal ha cobrado relevancia en la producción pecuaria debido a su potencial para mejorar la eficiencia alimenticia y, en consecuencia, la productividad de los sistemas de producción. En el contexto de la producción ovina, la incorporación de zinc orgánico en dietas formuladas a base de canola y avena se presenta como una estrategia innovadora que promete aumentar las cualidades de crecimiento y rendimiento productivo. El zinc es un mineral esencial que desempeña un papel crucial en la salud y el bienestar de los ovinos. Este elemento es fundamental para diversas funciones metabólicas y fisiológicas en estos animales. En primer lugar, el zinc es vital para el crecimiento y desarrollo celular, ya que participa en el metabolismo de los ácidos nucleicos. Esto significa que es esencial para la reproducción celular, lo que es especialmente importante en etapas de crecimiento y desarrollo en los borregos. El zinc también juega un papel importante en la adipogénesis, que es el proceso de formación de tejido adiposo o grasa en el organismo. En los ovinos, la adipogénesis es crucial para el desarrollo y la acumulación de grasa corporal, lo que a su vez influye en la calidad de la carne y la eficiencia alimentaria (Villanueva, 2011). La presencia adecuada de zinc en la dieta de los borregos es esencial para regular este proceso. El zinc actúa como un cofactor en varias enzimas que están involucradas en la síntesis de ácidos grasos y en la regulación del metabolismo lipídico. Esto significa que un suministro adecuado de zinc puede facilitar la conversión de nutrientes en grasa, lo que es importante para el crecimiento y la producción de carne en los ovinos (Villanueva, 2011, Angeles-Hernández *et al.*, 2021).

Los requerimientos de zinc necesarios para ovinos van de los 20 a 33 ppm, en cuanto a la tolerancia, se ha establecido que los ovinos pueden tolerar hasta 300 ppm de zinc en su dieta. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la cantidad de zinc necesaria puede variar según la edad, el estado de salud y el nivel de productividad de los animales (Alimohamady *et al.*, 2019). El diseño de dietas a base de canola y avena responde a la necesidad de diversificar las fuentes de nutrientes en la alimentación ovina. La canola es una excelente fuente de proteína y ácidos grasos esenciales, mientras que la avena aporta energía de alta calidad y fibra, lo que favorece el tránsito gastrointestinal y la digestión de otros nutrientes. La combinación de estos ingredientes con zinc orgánico podría optimizar el balance

nutricional de las dietas, favoreciendo una mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes y, en consecuencia, mejorando la productividad de los sistemas ovinos.

La relevancia de este estudio radica en la posibilidad de proporcionar una base científica sólida para la implementación de estrategias alimenticias más eficientes en la producción ovina. En un contexto donde la sostenibilidad y la eficiencia son cada vez más valoradas, el desarrollo de dietas que maximicen la respuesta productiva y mejoren la digestibilidad de los nutrientes puede ser la clave para asegurar la competitividad de los sistemas de producción ovina a largo plazo. La investigación propuesta no solo contribuirá al conocimiento científico, sino que también proporcionará a los productores ovinos herramientas prácticas para mejorar la rentabilidad de sus sistemas productivos. Por lo tanto, la inclusión de zinc-metionina en dietas para corderos en crecimiento en engorda intensiva a base de heno de canola o heno de avena pueden mejorar el crecimiento y respuesta productiva.

IV. HIPÓTESIS

La adición de zinc orgánico (ZnMet) en dietas a base de henos de canola y avena influye en la respuesta productiva y digestibilidad *in vitro* de ovinos en engorda alimentados en sistema intensivo.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta productiva de ovinos alimentados con dietas totalmente mezcladas a base de henos de canola o avena suplementadas con Zn-Met, así como la degradabilidad y fermentación de la materia seca por la técnica de producción de gas *in vitro*.

5.2 Objetivos específicos

- a) Medir la respuesta productiva de los ovinos en términos de: peso vivo inicial, peso vivo final, ganancia de peso total, consumo de materia seca, ganancia diaria de peso y aumento total d peso.
- b) Calcular la conversión y eficiencia alimenticias.
- c) Estimar la digestibilidad de la materia seca y los parámetros de fermentación por la técnica de producción de gas *in vitro* de las dietas experimentales suministradas.
- d) Realizar un análisis económico por el método de presupuestos parciales.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Ubicación y características del área de docencia en investigación en producción animal

El proyecto se llevó a cabo en el Área de docencia e investigación en Producción Animal ubicada en la Coordinación de producción de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México. Esta unidad está ubicada en la localidad de Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C.P. 50295, en las coordenadas geográficas 19°24'31" N – 99°41'24" W a una altitud de 2,602 m. El clima de esta región tiene una temperatura media anual de 8.2°C, y precipitación promedio de 738 mm (Álvarez-Lopezello et al., 2016).

6.2 Animales y alojamiento

Se utilizaron 32 ovinos F1 cruce de las razas Suffolk×Hampshire con peso vivo (PV) promedio de 25±0.58 kg y 3.5 meses de edad, alojados en corrales individuales, (1.8 m x 1.5 m), equipados con comedero y bebedero automático. Los ovinos fueron identificados con arete, bacterinizados para prevenir enfermedades causadas por *Clostridium* y desparasitados con ivermectina/closantel; se aplicaron vitaminas A, D, E y complejo B. Los ovinos recibieron dietas integrales experimentales (Cuadros 1 y 2) durante la fase experimental (aprox. 95 días, 10 de adaptación y 85 de medición) y agua limpia a libre acceso. La ración diaria se dividió en dos partes (8:00 y 15:00 h), la suplementación del Zn-Met se realizó directamente en comedero en la comida de la mañana. Cada día se registró el alimento ofrecido, alimento rechazado y se calculó el consumo de materia seca (kg/d) por animal durante todo el periodo experimental.

Cuadro 1. Composición y aporte nutrimental de las dietas experimentales (base seca) utilizadas en la engorda de ovinos en sistema intensivo.

Ingredientes, g kg ⁻¹ BS	Heno de avena		Heno de canola	
	Sin Zn-Met	Con Zn-Met	Sin Zn-Met	Con Zn-Met
Heno de canola	0.00	0.00	300.05	300.05
Heno de avena	300.54	300.54	0.00	0.00
Maíz molido	387.25	387.25	445.87	445.87

Pasta de soya	178.63	178.63	103.15	103.15
Salvado de trigo	80.67	80.67	79.92	79.92
Aceite vegetal	10.96	10.96	10.86	10.86
Bicarbonato de sodio	10.96	10.96	10.86	10.86
Carbonato de calcio	10.96	10.96	10.86	10.86
Fosfato di cálcico	0.00	0.00	18.33	18.33
Premezcla vitaminas-minerales	20.03	20.03	20.09	20.09
Total	1000	1000	1000	1000
Aporte nutrimental de las dietas (BS)				
MS (g kg ⁻¹)	912.21	912.21	920.79	920.79
EM (Mcal kg ⁻¹ MS)	2.64	2.64	2.70	2.70
ENg (Mcal kg ⁻¹ MS)	1.186	1.186	1.183	1.183
PC (g kg ⁻¹ MS)	168.70	168.70	168.70	168.70
FDN (g kg ⁻¹ MS)	220.95	220.95	205.79	205.79
FDA (g kg ⁻¹ MS)	103.07	103.07	117.46	117.46
Ca (g kg ⁻¹ MS)	9.69	9.69	13.58	13.58
P (g kg ⁻¹ MS)	4.22	4.22	7.23	7.23
Relación Ca:P	2.29	2.29	1.87	1.87
Zn (ppm)	13.08	13.08	21.66	21.66
Costo, \$/d	8.12	8.12	8.42	8.42
Costo, \$/kg BH	6.44	6.44	6.74	6.74

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales (base húmeda) utilizadas en la engorda de ovinos en sistema intensivo.

Ingredientes, g kg ⁻¹ BH	Heno de avena		Heno de canola	
	Sin Zn-Met	Con Zn-Met	Sin Zn-Met	Con Zn-Met
Composición de los tratamientos (dietas % BH)				
Heno de canola	0.00	0.00	285.95	285.95
Heno de avena	296.00	296.00	0.00	0.00
Maíz molido	401.42	401.42	466.54	466.54

Pasta de soya	174.31	174.31	101.61	101.61
Salvado de trigo	80.00	80.00	80.00	80.00
Aceite vegetal	10.00	10.00	10.00	10.00
Bicarbonato de sodio	10.00	10.00	10.00	10.00
Carbonato de calcio	10.00	10.00	10.00	10.00
Fosfato di cálcico	0.00	0.00	17.40	17.40
Premezcla vitaminas-minerales	18.27	18.27	18.5	18.5
Total	1000	1000	1000	1000

6.3 Determinación de la composición química

Se muestreó cada semana el alimento de la dieta para hacer un pool por tratamiento y se secaron (65°C) en estufa de aire forzado para determinar materia seca. Posteriormente, se determinó la composición química para PC, MO y EE (AOAC, 1997), para determinar los componentes de la fibra (DFN, FDA y LDA) se utilizó la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1992).

6.4 Estimación de la digestibilidad de la materia seca y producción de gas *in vitro*

La degradabilidad *in vitro* y la cinética de producción de gas de las dietas se evaluó por 96h; con nueve repeticiones en cada una más un blanco y tres estándares. El fluido ruminal se obtuvo mediante sonda a las 8:30 h de dos vacas de la raza Holstein con 600 kg de peso vivo alimentadas con una dieta (g/kg MS): ensilado de maíz (400), heno de avena (300) y concentrado comercial (300). Las fases sólidas y líquidas del contenido ruminal se separaron a través de cuatro capas de manta de cielo y se llevaron al laboratorio donde se colocaron en baño María a 39°C con flujo continuo de CO₂ bajo condiciones estériles. Se utilizaron botellas serológicas (125 mL) con 1,000 mg de muestra más una solución de elementos principales, solución amortiguadora, solución reductora y resazurina.

Cuadro 3. Composición de las soluciones utilizadas en la técnica de producción de gas *in vitro*.

Composición (g)				
Solución de elementos traza	Solución de elementos principales	Solución buffer	Resarzurina	Solución reductora
13.2 g CaCl ₂ · H ₂ O	5.7 g Na ₂ HPO ₄	35.0 g NaHCO ₃	100 mg Resarzurina	40 mL NaOH 1 N
10.0 g MnCl ₂ · H ₂ O	6.2 g KH ₂ PO ₄	4.0 g (NH ₄)HCO ₃	1000 mL H ₂ O	6.2 mL Sulfuro de Na
1.0 g CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.6 g MgSO ₄	1000 mL H ₂ O		950 mL H ₂ O
0.8 g FeCl ₂ · 6H ₂ O	1,000 mL H ₂ O			
100 mL H ₂ O				

Menke y Staingass (1988); Theodorou *et al.* (1994).

Finalmente, se agregaron 10 mL de líquido ruminal gaseado con CO₂ y se incubaron a 39°C en baño María (Menke y Steingass, 1988). Se registraron lecturas de presión (Theodorou *et al.*, 1994) las primeras 8 h y después cada 4 h hasta las 96 h. Se determinaron variables de fermentación *in vitro* para la materia seca (MS), como la asíntota máxima de producción de gas acumulado, el punto de inflexión de la curva y la tasa de degradación fraccional. Además, se estimó la digestibilidad de la fibra detergente neutra (FDN) a partir de los residuos sólidos post fermentación de acuerdo con Schofield (2000).

6.5 Medición de parámetros productivos

Los corderos se pesaron con una báscula digital al inicio (PVi) y al final (PVf) del periodo experimental. Los corderos fueron pesados cada 15 d para medir el cambio de peso, y se calculó la ganancia diaria de peso (GDP) utilizando la siguiente fórmula:

$$GDP = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Días de alimentación}}$$

La conversión alimenticia y eficiencia alimenticia se calculó con los valores del consumo de materia seca y el incremento de peso registrado cada 15 d.

6.6. Análisis económico de costo beneficio

Al finalizar la fase de respuesta productiva, se realizó un análisis económico mediante la metodología de presupuestos parciales por actividad (Dillon y Hardaker, 1993), lo cual permitió obtener: el costo de producción general del proyecto productivo, margen de utilidad y rentabilidad económica de la producción de carne de ovino en sistema intensivo.

6.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 2 tipos de heno (canola o avena; 300 g kg⁻¹ MS) x 2 niveles de Zn-Met (0 y 80 mg de Zn kg⁻¹ MS). Las variables de la respuesta productiva se analizaron con el procedimiento de mediciones repetidas a través del tiempo que duró la engorda de los ovinos. El análisis de variables de una vía se realizó con PROC GLM y las medias de los tratamientos fueron comparadas usando la prueba de Tukey (P≤0.05). El modelo estadístico para el diseño que se utilizó es el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + a*b_{(ij)} + e_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = Variable de respuesta.

μ = media general.

a_i = efecto de la fuente de forraje (heno de canola vs heno de avena).

b_j = efecto del nivel de Zn-Met (0 vs 80 mg por kg⁻¹ MS).

$a*b_{(ij)}$ = efecto de la interacción de la fuente de heno x Zn-Met.

e_{ijk} = Error aleatorio.

El análisis de datos del ensayo *in vitro* se realizó con procedimientos mixtos lineales (PROC MIXED) con combinación de estructuras de covarianza de simetría compuesta y componentes de la varianza (Littell *et al.*, 2006) con método de estimación REML (SAS Institute Inc., 2004). Los viales serológicos fueron considerados sujetos aleatorios. La

asignación de letras a las diferencias entre tratamientos se realizó con la Macro pdmix800.sas con ajuste de Tukey ($P \leq 0.05$).

VII. LÍMITE DE ESPACIO

El estudio se llevó a cabo con corderos en un sistema de confinamiento intensivo para observar y estudiar su comportamiento productivo en las instalaciones del Área de Docencia e Investigación en Producción Animal de la FMVZ.

Los estudios bromatológicos y digestibilidad *in vitro* se realizaron en el laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario "El Cerrillo Piedras Blancas", en Toluca, Estado de México.

VIII. LÍMITE DE TIEMPO

El desarrollo del estudio experimental en campo, así como los análisis de laboratorio y los análisis estadísticos de la información, asociados a esta investigación, se llevaron a cabo durante el período comprendido entre octubre de 2024 a enero de 2025.

La redacción y conclusión del trabajo final se realizó de enero a abril de 2025.

Cuadro 4. Cronograma de actividades período octubre 2024 a abril de 2025.

Actividades / mes	2024							2025			
	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Elaboración y registro de protocolo de tesis.	X	X	X	X	X	X					
Periodo experimento de respuesta productiva:	X	X	X	X							
Registro de peso y distribución de ovinos a tratamientos.	X										
Registro quincenal de peso, suministro diario de alimento, muestreo de dietas para análisis.	X	X	X	X							
Ensayo de digestibilidad <i>in vitro</i> por producción de gas de las dietas experimentales.					X	X					
Análisis estadístico de la información e interpretación de resultados.							X	X	X	X	
Análisis económico de la información.									X	X	
Redacción de documento final de tesis y solicitud de revisión.									X	X	X
Aprobación de tesis para impresión.											X
Presentación de examen profesional.											X

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Respuesta productiva

En la información presentada en el Cuadro 5 se muestra el comportamiento productivo de los ovinos por efecto de tipo de forraje incluido en la dieta, así como por la complementación con Zn-Met y el período de medición, cada 2 semanas, en el registro del consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia. No se obtuvieron diferencias por efecto de tipo de forraje y adición de Zn-Met en la dieta, en ninguna de las variables analizadas. Se encontró efecto del periodo de medición en las variables consumo de MS, conversión y eficiencia alimenticias ($P < 0.01$) y ganancia diaria de peso ($P < 0.05$), así como de la interacción tipo de forraje con período de medición en el consumo de MS por kg de peso metabólico ($P < 0.05$) y en la conversión alimenticia ($P < 0.01$).

La similar respuesta productiva observada en los ovinos alimentados con los dos tipos de forraje está relacionada con la similar composición nutrimental de las dietas suministradas, ya que para poder compararlas se formularon para aportar similar contenido de energía metabolizable, energía neta, de ganancia de peso y concentración de proteína. En general los estudios realizados sobre complementación de Zn orgánico en dietas para bovinos y ovinos en engorda intensiva tiene poco o nulo efecto en la respuesta productiva.

En el caso de ovinos, Rodríguez-Maya et al. (2019) observó que el suministro de 65 mg de Zn por kg^{-1} de MS (50% Zn Metionina y 50% ZnO) en la dieta de ovinos en engorda con alimentación intensiva mejoró la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia.

Por otro lado, Trujillo-Gutiérrez et al. (2025) evaluaron el efecto del suministro de Zn orgánico, 80 mg de Zn kg^{-1} MS, en la dieta de ovinos en engorda en pastoreo complementados con dos niveles de concentrado sobre la eficiencia del crecimiento y características de la calidad de la canal; estos autores indicaron que tanto el Zn orgánico (80 mg de Zn kg^{-1} MS) como el concentrado (1.5% del peso vivo) suministrados en la dieta aumentó la ganancia de peso y el peso vivo final.

Se ha observado que el Zn tiene efecto sobre la ganancia diaria de peso de bovinos en finalización; Spears y Kegley (2002) reportaron un incremento en la ganancia diaria, rendimiento en canal y marmoleo con respecto al grupo control durante 84 días de prueba,

con niveles de 25 mg de Zn kg⁻¹ MS. Beeson *et al.* (1977) realizaron una serie de experimentos utilizando 20 mg de Zn kg⁻¹ MS, encontrando diferencia en uno de los siete experimentos. Spears (1989) señaló que la ganancia de peso solo se incrementó durante los primeros 56 días de 126 de estudio, con una adición de 24 mg de Zn kg⁻¹ MS. En un estudio con complementación de Metionina-Zn se observó mejora en el crecimiento y características de la canal de ganado de engorda (Spears, 1989). La concentración de zinc en las dietas de finalización no influyó en el rendimiento en el corral de engorda y tuvo un impacto mínimo en la calidad de la canal en el acabado de los novillos de carne (Malcolm-Callis *et al.*, 2000). Estudios más recientes en bovinos de engorda, como el realizado por Rodríguez-Gaxiola *et al.* (2015) indicaron que la complementación de Zn Metionina (80 mg de Zn kg⁻¹ MS) en la dieta de bovinos en corral, cruce de Brahaman x Europeo, en finalización no afectó (P>0.05) el comportamiento del crecimiento, el consumo de alimento y la conversión alimenticia.

Cuadro 5. Efecto de la inclusión de dos niveles de zinc-metionina en dietas a base de forraje de canola o avena para corderos en engorda en corral sobre la respuesta productiva.

Variable	Heno de avena		Heno de canola		EEM ²	Probabilidad de efectos, P<			
	Sin	Con	Sin	Con		Forr	Zn-Met	Tiem	Forr* ³ Tiem
	Zn-Met	Zn-Met	Zn-Met ¹	Zn-Met					
PVI, kg ³	24.3	24.61	23.78	23.7	1.82	----	----	----	----
PVF, kg	44.91	43.66	44.91	43.66	1.28	0.63	0.43	0.14	0.63
GDPT, kg	20.61	19.05	21.13	19.96	0.75	0.94	0.53	0.01	0.37
CMS, g/kg PM ⁴	93.38	91.77	92.09	89.91	5.54	0.8	0.75	0.12	0.04
CMS, g/d	1083.12	1034.91	999.97	1027.78	99.78	0.94	0.56	0.01	0.37
GDP, g/d	310.75	289.57	294.59	281.27	21.77	0.77	0.1	0.03	0.24
CA, kg	3.48	3.57	3.39	3.65	0.38	0.09	0.11	0.01	0.01
EFA, %	28.69	27.98	29.46	27.36	2	0.74	0.45	0.01	0.34

¹Zn-Met, zinc-metionina.

²EEM, error estándar de la media.

³PM=Peso metabólico (PV^{0.75}).

De los resultados del presente estudio, cabe destacar que la conversión de alimento en ganancia de peso conforme transcurrió la engorda de los ovinos fue mayor con el suministro de Zn-Met, tanto en la dieta con heno de canola como en la de heno de avena. Lo anterior puede estar asociado con el efecto adipogénico del Zn, por lo tanto, al promover una mayor

deposición de grasa en la canal puede afectar la conversión alimenticia y la eficiencia de uso de los nutrientes por el organismo del ovino. De acuerdo con el estudio de Greene *et al.* (1988), los novillos alimentados con Zn Metionina en la dieta tienden a tener más grasa externa que novillos alimentados con la dieta control sin Zn Metionina, lo cual puede influir en la conversión alimenticia del ganado.

9.2 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Se observó que las dietas a base de avena produjeron menos de 6% de mL de gas que la dieta a base de heno de canola (Cuadro 6). Además, la dieta con heno de canola + Zn-Met tuvo mayor ($P<0.05$) asíntota máxima de gas acumulado a las 72 h que las dietas sin Zn-met. Se observó que todas las dietas tuvieron similar ($P>0.05$) punto de inflexión de la curva y tasa fraccional de degradación. La DIVMS mostró resultados similares entre las dietas experimentales evaluadas, por lo tanto, se espera que el grado de aprovechamiento en condiciones *in vivo* sean también similares, lo anterior también puede estar asociado con la similitud de la composición química y aporte de nutrientes de estas. Finalmente, el pH en la dieta a base de heno de avena fue ligeramente menor que con heno de canola, atribuyéndose al mayor contenido de fibra detergente neutro (FDN) que favorece una fermentación ruminal más activa y, en consecuencia, mayor producción de ácidos grasos volátiles, disminuyendo ligeramente el pH.

Cuadro 6. Efecto de la inclusión de dos niveles de zinc-metionina en dietas a base de forraje de canola o avena para corderos en engorda en corral sobre la fermentación y digestibilidad de la materia seca *in vitro* por producción de gas.

Variable	Heno de avena		Heno de canola		EEM ¹
	Sin	Con	Sin	Con	
	Zn-Met	Zn-Met	Zn-Met	Zn-Met	
² β_1 , mL g ⁻¹ MS	149.11 ^b	169.98 ^{ab}	154.99 ^b	183.8 ^a	6.19
³ β_2 , h	10.51 ^a	10.34 ^a	15.17 ^a	12.38 ^a	1.66
⁴ β_3 , g MS h ⁻¹	0.26 ^a	0.23 ^a	0.24 ^a	0.22 ^a	0.01
⁵ DIVMS, g kg ⁻¹ MS	602.25 ^a	633.55 ^a	598.59 ^a	598.92 ^a	16.90
pH a las 72 h	6.47		6.53		-

¹EEM, error estándar de la media.

² β_1 (Asíntota máxima de gas acumulado); ³ β_2 (Ymax/2, punto de inflexión de la curva); ⁴ β_3 (tasa fraccional de degradación), ⁵Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

9.3 Análisis económico por el método de presupuestos parciales

Como se muestra en el Cuadro 7, el costo por concepto de alimento en la dieta con heno de canola sin y con Zn-Met fue mayor que con heno de avena con y sin Zn-Met. En consecuencia, el costo total, en términos de egresos totales, de las dietas con heno de canola fue 2.18% mayor que con heno de avena. El balance económico final de la engorda con alimentación intensiva de 32 ovinos permitió obtener una ganancia total de \$ 6,857.89 pesos.

Cuadro 7. Análisis económico general por presupuestos parciales de ovinos en engorda intensiva con sustitución de heno de canola por heno de avena en dietas TMR complementadas con Zn orgánico (0 y 80 mg kg⁻¹ MS).

Variable	Heno de avena		Heno de canola	
	S/Zn-Met	C/Zn-Met	S/Zn-Met	C/Zn-Met
Egresos				
Costo ovino, \$1,750.00/cabeza	14,000.00	14,000.00	14,000.00	14,000.00
Costo alimento, \$/kg BH	6.34	6.50	6.64	6.80
Consumo, g MS/ovino/día	999.97	1,027.78	1,083.12	1,034.91
Consumo g BH/ovino/día	1,086.28	1,141.97	1,203.46	1,149.9
Consumo, kg/ovino/periodo (77d)	83.64	87.93	92.67	88.54
Costo alimento, \$/ovino/periodo	530.30	571.56	615.31	602.09
Costo alimento, \$ 8 ovinos/periodo	4,242.40	4,572.45	4,922.44	4,816.70
Conversión alimenticia, kg	3.39	3.65	3.48	3.57
Costo alimento, por kg GDP, \$	21.49	23.72	23.10	24.27
Medicamentos, \$/ovino/periodo	35.00	35.00	35.00	35.00
Medicamentos, \$/grupo/periodo	280.00	280.00	280.00	280.00
Mano de obra: 0.5 jornales/día	2,489.30	2,489.30	2,489.30	2,489.30
Egreso total, \$/tratamiento	21,011.70	21,341.75	21,691.74	21,586.00
Ingresos				
Peso de la canal fría, kg	20.30	19.63	20.14	20.75
Ingresos (\$ canales en frío \$143.0/kg)	23,223.20	22,456.72	23,040.16	23,738.00
Diferencia, \$ (ingresos-egresos)	2,211.50	1,114.97	1,348.42	2,152.00
Relación beneficio-costos, \$	1.11	1.05	1.06	1.10

En relación con el ingreso total por venta de canales de ovinos en estado frío post matanza y faena a las 24 horas, se obtuvo que fue 2.4% mayor en las dietas con heno de canola, con una diferencia bruta de 4.01% a favor de las dietas con heno de canola sin y con Zn-Met. Con base en el análisis económico anterior, por el método de presupuestos parciales de egresos e ingresos, la relación costo beneficio obtenida en las dietas con los dos tipos de forraje sin y con adición de Zn-Met fue similar 1.16% (se recuperaron 0.16 pesos por peso invertido).

X. CONCLUSIÓN

- ✓ Respecto al rendimiento productivo, la utilización de heno de canola puede sustituir al heno de avena sin detrimento de la ganancia diaria de peso, consumo voluntario, eficiencia y conversión alimenticia.

- ✓ La inclusión de heno de canola en la dieta de corderos en crecimiento combinada con Zn-Met aumentó la producción de gas *in vitro* sin afectar la degradabilidad de la materia seca y sus parámetros de fermentación.

- ✓ Finalmente, la inclusión de heno de canola en dietas para corderos en engorda intensiva mejoró en 4% el ingreso por venta de canales frías, esto último resulta ser importante, ya que determina el precio que el comprador está dispuesto a pagar.

XI. LITERATURA CITADA

- Agbossamey, Y., Petit, H. V., Seoane, J. R., & St-Laurent, G. J. (1998). Performance of lambs fed either hay or silage supplemented with canola or fish meals. *Canadian Journal of Animal Science*, 78(4), 553-558. <https://doi.org/10.4141/A97-017>.
- Alimohamady, R., Aliarabi, H., Bruckmaier, R. M., & Christensen, R. (2019). Effect of different sources of supplemental zinc on performance, nutrient digestibility, and antioxidant enzyme activities in lambs. *Biological Trace Element Research*. <https://doi.org/10.1007/S12011-018-1448-1>.
- Álvarez-Lopezello, J., Rivas-Manzano, I. V., Aguilera-Gómez, L. I., y González-Ledesma, M. (2016). Diversidad y estructura de un pastizal en El Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 980-989. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42547314011>
- An, X., Zhang, L., Luo, J., Zhao, S., & Jiao, T. (2020). Effects of oat hay content in diets on nutrient metabolism and the rumen microflora in sheep. *Animals*, 10(12), 2341. <https://doi.org/10.3390/ani10122341>.
- Andersen, SN (2022). Manejo de antinutrientes en forrajes (pp. 33–38). https://doi.org/10.1007/978-981-19-6020-8_5
- Angeles-Hernandez, J.C., M., Miranda, A. L., Muñoz-Benitez, R., Vieyra-Alberto, N., Morales-Aguilar, E. A., & González-Ronquillo, M. (2021). Zinc supplementation improves growth performance in small ruminants: A systematic review and meta-regression analysis. *Animal Production Science*, 61(7), 621-629. <https://doi.org/10.1071/AN20628>.
- AOAC International. (1997). *Official methods of analysis of AOAC International* (16th ed.). Arlington, VA: AOAC International.
- Avellaneda, Y., Mancipe, E., Vargas, J., & Manriquez, D. (2024). Energy and protein requirements of growing lambs in Colombian highlands. *Animals*, 14(14), 2117. <https://doi.org/10.3390/ani14142117>.

- Bañuelos, J. A., López-Rodríguez, J. A., & Rojas, J. (2023). Inclusión de niveles de expeller de algodón en la alimentación de ovinos confinados: Comportamiento productivo, características de la canal y calidad de la carne. *Manglar*, 20(3), 195-200. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.022>.
- Beeson, W.M., T.W. Perry, & T.D. Zurcher. (1977). Effect of supplemental zinc on growth and on hair and blood serum levels of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 45: 160-165.
- Camargo, J., Acosta, A., Ping, R., Provin, A., Rode, T., Tucker, H. A., & Hancock, D. (2023). Zinc from methionine hydroxy analog chelate is more effective in enriching tissues than zinc from an amino acid complex in growing pigs using stable isotopes. *Journal of Animal Science*, 101(Supl.3), 198-199. doi: [10.1093/jas/skad281.240](https://doi.org/10.1093/jas/skad281.240)
- Carneiro, M. M. Y., de Goes, R. H. T. B., Sabedot, M. A., Gandra, J. R., Gabriel, A. M. A., de Oliveira, R. T., da Silva, N. G., & Anschau, D. G. (2022). Performance, gastrointestinal morphometry, carcass and non-carcass traits in sheep finished on diets containing canola (*Brassica napus* L.). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 44, e53686.
- Carpio, E. (2014). Descripción de los sistemas de producción ovina en México. Morelia, Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- Chen, Z.-H., Xu, Y.-X., Xie, X.-L., Wang, D.-F., Aguilar-Gómez, D., Liu, G.-J., Li, X., Esmailizadeh, A., Rezaei, V., Kantanen, J., Ammosov, I., Nosrati, M., Periasamy, K., Coltman, D. W., Lenstra, J. A., Nielsen, R., & Li, M.-H. (2021). Whole-genome sequence analysis unveils different origins of European and Asiatic mouflon and domestication-related genes in sheep. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.09.07.458675>.
- COMECARNE. (2024). Compendio estadístico 2024 (Versión 2). Recuperado de <https://comecarne.org/wp-content/uploads/2024/05/compendio-estadistico-2024-V2.pdf>.

- Dillon, J., & Hardaker, J.B. (1993). Farm Management Research for Small Farmer Development. Farm Systems Management Series No. 6. Rome, Italy: Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Dixon, R. M., Thomas, R., & Egan, A. R. (1991). Effects of supplements during pregnancy on reproductive performance and wool growth by Merino ewes. *Animal Science*. [url={https://api.semanticscholar.org/CorpusID:8346973}](https://api.semanticscholar.org/CorpusID:8346973).
- Eren, M., Kılıç, A., & Kılıç, A. (2024). Effects of dietary zinc supplementation on growth performance and carcass characteristics in lambs. *Veterinary Quarterly*. <https://doi.org/10.1080/01652176.2023.2298491>.
- Espinoza-Santillan, D.C. (2017). Efecto del zinc orgánico adicionado en la dieta sobre la calidad del semen de ovinos de la raza Hampshire. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. INIFAP. Acapulco, México.
- Fraire-Cordero, S., Rosales-Martínez, V., Flota-Bañuelos, C., & Bautista-Ortega, J. (2023). Aporte de los sistemas agrosilvopastoriles de Escárcega y Champotón, Campeche, al bienestar familiar. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 27 (Suplemento II), 21-23. <http://doi.org/10.53897/RevAIA.23.27.40>.
- Granero, A., Anaya, G., Demyda-Peyrás, S., Alcalde, M. J., Arrebola, F., & Molina, A. (2022). Genomic population structure of the main historical genetic lines of Spanish Merino sheep. *Animals*, 12(10), 1327. <https://doi.org/10.3390/ani12101327>.
- Greene, L.W., D.K. Lunt, F.M. Byers, N.K. Chirase, C.E. Richmond, R.E. Knutson & G.T. Schelling. (1988). Performance and Carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. *J. Anim Sci.* 66: 1818-1823.
- Guerrero-Bárcena, M., Domínguez-Vara, I. A., Morales-Almaraz, E., Sánchez-Torres, J. E., Bórquez-Gastelum, J. L., Hernández-Ramírez, D., Trujillo-Gutiérrez, D., Rodríguez-Gaxiola, M. A., Pinos-Rodríguez, J. M., Velázquez-Garduño, G., & Grageola-Nuñez, F. (2023). Effect of Zilpaterol Hydrochloride and Zinc Methionine on Growth, Carcass Traits, Meat Quality, Fatty Acid Profile and Gene Expression in Longissimus

- dorsi Muscle of Sheep in: Intensive Fattening. Agriculture, 13(3), 684. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030684>.
- Hussein, H. S., Merchen, N. R., y Fahey, G. C. (1995). Effects of forage level and canola seed supplementation on site and extent of digestion of organic matter, carbohydrates, and energy by steers. Journal of Animal Science, 73(8), 2458–2468. <https://doi.org/10.2527/1995.7382458X>
- Ibarrola-Rivas, M. J., Unar-Munguía, M., Kastner, T., & Nonhebel, S. (2022). Does Mexico have the agricultural land resources to feed its population with a healthy and sustainable diet? Sustainable Production and Consumption, 34(3), 371-384. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.015>.
- INEGI. (2023). Censo Agropecuario 2022. Resultados Definitivos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdNAL.pdf
- Juárez, A., y Padilla-Cuevas, M. (2024). Efecto de la suplementación de zinc en la producción de carne de ovinos en engorda. Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- Juárez-Corral, G. (2023). Climate change and livestock production. International Journal of Life Science and Agriculture Research, 2(12), 485-496. <https://doi.org/10.55677/ijlsar/V02I12Y2023-03>.
- Kassab, AY, Abdel-Ghani, AA, Solouma, GMA, Soliman, EB y Abd-El-Moty, AK (2009). Rendimiento de la lactancia de ovejas Sohagi afectado por la alimentación con proteína protegida de canola. Revista egipcia de ciencias de ovejas y cabras, 4 (2), 65–78. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113183150>
- Khorrami, Z., Aliarabi, H., Farahavar, A., & Fadayifar, A. (2024). Effect of pre and postpartum maternal supplementation of zinc and selenium via slow-release glass bolus or the element salts on feed intake and some blood parameters in ewes and their lambs. Animal Feed Science and Technology, 311, 115949. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115949>.

- Lawrence, B. V., Foran, C. K., Hintz, A., Torres, D., Acosta Camargo, J. A., & Provin, A. (2024). Copper methionine hydroxy analogue chelate in a reduce and replace copper strategy improves nutrient availability in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 1-10.
- Leupp, J., Lardy, G. P., Soto-Navarro, S. A., Bauer, M. L., & Caton, J. S. (2006). The effects of canola seed supplementation on nutrient digestibility in ruminants. *Journal of Animal Science*. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-114>.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D & Schabenberger, O. (2006) SAS for Mixed Models, 2 nd ed. Cary, NC: SAS Institute, Inc.
- López-Rodríguez, J. A., Martínez, M. F., & Rojas, J. (2023). Inclusión de niveles de expeller de algodón en la alimentación de ovinos confinados: Comportamiento productivo, características de la canal y calidad de la carne. *Manglar*. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.022>.
- Lu, C.D. (2024). Nutrient utilization, requirements and nutrigenomics in sheep and goats <https://www.preprints.org/manuscript/202405.1956/v1>.
- Magaña-Monforte, J.G., Tec Canché, J.E., Segura-Correa, J.C., Aké Villanueva, J.R., & Parra-Bracamonte, G. M. (2024). Reproductive and productive performance of hair sheep in a semi-intensive system in southeastern Mexico. *Veterinaria México OA*. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2024.1243>.
- Malau-Aduli, A. E. O., Walker, R. E., Ranson, C. F., Sykes, J. M., & Bignell, C. W. (2009). Variation in sire genetics is an irrelevant determinant of digestibility in supplemented crossbred sheep fed canola and lupins. *Animal Production Science*, 49(4), 320-326. <https://doi.org/10.1071/AN08072>.
- Malcolm-Callis, K. J., Duff, G. C., Gunter, S. A., Kegley, E. B., & Vermeire, D. A. (2000). Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *Journal of Animal Science*, 78(11), 2801–2808. <https://doi.org/10.2527/2000.78112801x>

- Márquez-Hernández, D. (2020). Efecto del complemento alimenticio con y sin zinc orgánico en la respuesta productiva y digestibilidad de ovinos en pastoreo de pradera rye grass [Tesis de licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México].
- Masters, D., & Mata, G. (1995). Responses in wool and live weight when different sources of dietary protein are given to pregnant and lactating ewes. *Animal Science*, 61(2), 201-210.
- Masters, D., Stewart, C. A., Mata, G., & Adams, N. R. (1996). Responses in wool and live weight when different sources of dietary protein are given to pregnant and lactating ewes. *Animal Science*. <https://doi.org/10.1017/S1357729800015034>.
- Mazumder, M. A. R., Rahman, M. M., & Hossain, M. K. (2004). Diversity of chemical composition, dry matter intake, in vivo digestibility and in situ dry matter degradability of oat hay (*Avena sativa*). *Animal Science Journal*, 75(4), 453-458.
- Medina, M., Rodríguez, J., & González, A. (2024). Energy and protein requirements of growing lambs in Colombian highlands. *Animals*.
- Meng, L., Jin, X., Zhi, Q., & Mi, L. (2024). Efectos de la deficiencia de minerales en la dieta y la suplementación sobre diferentes partes del contenido de minerales musculares en ovejas mongolas en pastoreo. *Frontiers in Veterinary Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1301852>.
- Menke, K. H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Rural Development*, 28(7).
- Nakamura, A., Kido, T., Seki, Y., & Suka, M. (2023). Zinc deficiency affects insulin secretion and alters insulin-regulated metabolic signaling in rats. *Journal Of Trace Elements In: Medicine and Biology*, 83, 127375. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127375>.
- National Research Council (U.S.). Committee on Nutrient Requirements of Small Ruminants. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids. National Academies Press.

- Nuncio-Ochoa, M. G. J., Gómez Ramos, B., Bobadilla Soto, E. E., Nahed-Toral, J., Arriaga Jordán, C. M., & Bravo, R. (2024). Análisis de la sostenibilidad en los sistemas de producción ovina en el Altiplano de Michoacán. *Espamciencia*. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i1.420.
- Pachauri, V.C., Mahanta, S.K., & Choubey, R.N. (1997). Nutritional evaluation of hay of three varieties of oat in sheep. *Indian Journal of Animal Nutrition*.
- Padilla, J., y Padilla, M. (2024). Seguridad alimentaria y demanda de productos animales en México. *Revista de Estudios Globales*, 32(1), 45-60.
- Pedroza Ortega, L.O. (2024). Mejor comida para todos. La alimentación mexicana en campañas de nutrición y en promocionales de la Conasupo (1935-1988). <https://doi.org/10.59950/im.82>.
- Pinto, A. C., Cordeiro, M. D., & Oliveira, R. S. (2021). Performance, gastrointestinal morphometry, carcass and non-carcass traits in sheep finished on diets containing canola (*Brassica napus* L.). *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 789.
- Plaisance, K. E., & Rioux, G. P. (1996). The effect of canola meal on lamb growth performance and carcass characteristics when fed to growing lambs. *Journal of Animal Science*.
- Rahman, M. M., Abdullah, R. B., & Khadijah, W. E. W. (2013). A review of oxalate poisoning in domestic animals: tolerance and performance aspects. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(4), 605–614. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0396.2012.01309.X>
- Ramírez, S., Herrera, J.G., Bárcena, R., Ortega, M.E., y Crosby, M. M. (2018). Alimentación de ovinos con heno de avena cosechado en dos etapas de madurez en el noroeste de Chihuahua, México. *Archivos de Zootecnia*, 67(259), 310-316. <https://doi.org/10.21071/az.v67i259.3785>.
- Reta-Sánchez, D., Martínez, A., & González, J. (2016). Nutritional evaluation of canola as a protein source for lambs: Growth performance and carcass characteristics comparison with other protein sources in lamb diets. *Animal Feed Science and Technology*.

- Rodríguez-Gaxiola, M.A., Domínguez-Vara, I.A., Barajas-Cruz, R., Mariezcurrema-Berasain, M.A., Borquez-Gastelum, J.L. & Cervantes-Pacheco, B.J. (2015) A. Effects of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on growth performance and carcass characteristics of beef bulls. *Canadian Journal of Animal Science*, 95, 609-615 A.
- Rodríguez-Gaxiola, M.A., Pinos-Rodríguez, J.M., Domínguez-Vara, I.A., González-Muñoz, S.S. & Bórquez-Gastelum, J.L. (2015) B. Effect of Zinc Methionine Supplementation on Growth, Carcass Traits, and Meat Quality in Sheep. *Canadian Journal of Animal Science*, 95, 609-615.
- Rodríguez-Maya, M. A., Domínguez-Vara, I. A., Trujillo-Gutiérrez, D., Morales-Almaráz, E., Sánchez-Torres, J. E., Bórquez-Gastelum, J. L., Acosta-Dibarrat, J., Grageola-Nuñez, F., & Rodríguez-Carpena, J. G. (2019). Growth performance parameters, carcass traits, and meat quality of lambs supplemented with zinc methionine and (or) zinc oxide in feedlot system. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(3), 585–595. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0153>
- Rowe, J.B., May, P.J., & Crosbie, G.B. (2000). Knowing your oats. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(2), 205-210.
- Safaei, A., Rouzbehan, Y., y AghaAlikhani, M. (2022). La canola como forraje potencial. *Translational Animal Science*, 6 (3). <https://doi.org/10.1093/tas/txac100>
- Santos, V. C., Oliveira, M. M., Silva, J. A., Ferreira, M. F., y Lima, M. A. (2009). Consumo e digestibilidade em ovinos alimentados com grãos e subprodutos da canola. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 2.
- SAS Institute Inc. (2004). *SAS/STAT® 9.1 User's Guide*. SAS Institute Inc.
- Schofield, P. 2000. Gas production methods. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*, Chapter 10. Cab International, UK. pp. 209-232.
- Serrano, M., Fernández, A., González, C., Martínez-Blanch, J., Moreno-García, M., Rojo-Guerra, M., & Calvo, J. H. (2022). Deciphering the origins of Neolithic sheep from northern Iberian Peninsula. In *Proceedings of the 12th World Congress on Genetics*

- Applied to Livestock Production (WCGALP). Wageningen Academic Publishers.
http://doi.org/10.3920/978-90-8686-940-4_259.
- Sierra, A., Bréhard, S., Montes, L., Utrilla, P., & Saña, M. (2019). Sheep exploitation and husbandry in first farming societies: from production to consumption in Central Pyrenees in the Early Neolithic. *Archaeological And Anthropological Sciences*, 11(10), 5813-5829. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00907-3>.
- Smith, O.B., & Akinbamizo, O.O. (2000). Micronutrients and reproduction in farm animals. *Anim. Reprod. Sci.*, 60-61, 549-560.
- Sofi'ul Anam, M., Astuti, A., Prasetyo Widyobroto, B., Gunawan, & Agus, A. (2024). Effects of combined organic selenium and zinc supplementation on in vitro ruminal enzyme activities and relative populations of several bacterial species. *World's Veterinary Journal*. <https://doi.org/10.54203/scil.2024.wvj22>.
- Spears, J.W. (1989). Zinc methionine for ruminants: Relative bioavailability of zinc in lambs and effects on growth and performance of growing heifers. *J. Anim. Sci.* 67: 835–843.
- Spears, J. W., & Kegley, E. B. (2002). Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal Science*, 80(10), 2747–2752. <https://doi.org/10.2527/2002.80102747x>
- Su, S., Wang, L., Fu, S., Zhao, J., He, X., Chen, Q., Belobrajdic, D.P., Yu, C., Liu, H., Wu, H., Han, P., Yang, B., Huang, Y., Liu, Y., & He, J. (2022). Effects of oat (*Avena sativa* L.) hay diet supplementation on the intestinal microbiome and metabolome of Small-tail Han sheep. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1032622. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1032622>.
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., & France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48(1-2), 185-197.

- Tobiasz-Salach, R., Stadnik, B., & Bajcar, M. (2023). Oat as a potential source of energy. *Energies*, 16(16), 6019. <https://doi.org/10.3390/en16166019>.
- Trujillo-Gutierrez, D.; Dominguez-Vara, I.A.; Marquez-Hernandez, D.; Reyes-Juarez, J.; Morales-Almaraz, E.; Sanchez-Torres, J.E.; Velazquez-Garduno, G.; Pinos-Rodriguez, J.M.; Ramirez-Bribiesca, J.E. (2025). Effects of Zn-Organic Supplementation on Growth, Body Composition, Carcass Traits, and Meat Quality of Grazing Lambs Fed with Two Levels of Concentrate. *Processes*. 13, 900. <https://doi.org/10.3390/pr13030900>.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1992). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
- Vargas-Bello-Pérez, E., López Díaz, C. A., Ruiz-Romero, R. A., Chay-Canul, A. J., Lee-Rangel, H. A., Gonzalez-Ronquillo, M., Ghavipanje, N., & Tajonar, K. (2023). A brief update on sheep production in Mexico: Challenges and prospects. *Revista Agroproductividad*, 11(1), 1-10.
- Vierboom, M., Engle, T.E., & Kimberling, C.V. (2003). Effects of gestational status on apparent absorption and retention of copper and zinc in mature Angus cows and Suffolk ewes. *Asian Austr. J. Anim. Sci.*, 16, 515-518.
- Villanueva, G. J. (2011). Nutrición del ganado: Zinc. Sitio Argentino de Producción Animal. <http://www.produccion-animal.com.ar>.