



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

---

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**“EFECTO DE ZINC-METIONINA EN RACIONES DE  
OVINOS EN ENGORDA INTENSIVA CON FORRAJE DE  
CANOLA SOBRE LA FERMENTACIÓN *IN VITRO*”**

**TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**PRESENTA:**

PMVZ. Diego Alfredo Valencia Pérez

**ASESORES:**

Dr. en C. Ignacio Arturo Domínguez Vara

Dr. en C. Daniel Trujillo Gutiérrez

Dr. en C. Ernesto Morales Almaráz



Toluca, Estado de México, abril de 2025.

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
2.1 Situación actual de la producción ovina en México .....	11
2.2 Sistema de producción intensivo en México .....	
2.3 Características del forraje de canola .....	11
2.4 Requerimientos nutricionales de zinc en el ganado .....	12
2.5 Características de Zn-met en la dieta de los ovinos .....	12
2.6 Efecto de fuentes naturales de lípidos en la alimentación de rumiantes.....	14
2.7 Metabolismo de lípidos.....	16
2.7.1 Importancia de los lípidos en los animales.....	16
2.7.2 Absorción y transporte de lípidos.....	17
2.8 Biohidrogenación de ácidos grasos insaturados .....	18
2.9 Fuentes y disponibilidad de zinc.....	19
2.10 Inclusión zinc en la dieta y su efecto en producción animal.....	20
2.11 Efectos del zinc sobre el metabolismo lipídico.....	21
3. JUSTIFICACIÓN .....	23
4. OBJETIVOS .....	24
5. HIPÓTESIS .....	25
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
6.1 Establecimiento de los cultivos de canola y avena .....	26
6.2 Composición química .....	27

6.3 Dietas experimentales .....	28
6.4 Evaluación <i>in vitro</i> .....	29
6.5 Diseño experimental y análisis estadístico. ....	30
7. LIMITE DE ESPACIO .....	31
8. LÍMITE DE TIEMPO.....	32
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
9.1 Composición química de ingredientes .....	33
9.2 Composición química de los tratamientos .....	34
9.3 Parámetros de fermentación <i>in vitro</i> .....	36
9.4 Degradabilidad <i>in vitro</i> de la materia seca y fibra detergente neutro .....	38
10. CONCLUSIONES.....	41
11. LITERATURA CITADA .....	42
12. ANEXOS .....	51

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Función en el metabolismo de metaloenzimas y enzimas lipogénicas. ....	13
Cuadro 2. Composición y aporte nutrimental de las dietas experimentales diseñadas para corderos y evaluadas <i>in vitro</i> . ....	28
Cuadro 3. Composición de las soluciones utilizadas en la técnica de producción de gas <i>in vitro</i> . ....	29
Cuadro 4. Cronograma de actividades de la investigación. ....	32
Cuadro 5. Contenido químico de los ingredientes utilizados en las dietas experimentales. ....	34
Cuadro 6. Composición química de las dietas experimentales. ....	35
Cuadro 7. Ajuste del modelo de crecimiento Logístico a la producción de gas <i>in vitro</i> de los tratamientos. ....	37
Cuadro 8. Efecto de la inclusión Zn orgánico en dietas a base de heno de canola o avena para borregos en crecimiento. ....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cultivo de forraje de canola con 114 d de edad. ....	26
Figura 2. Corte del forraje de canola con 114 d de edad. ....	26
Figura 3. Cultivo de avena forrajera variedad Chihuahua y forraje molido con 150 d de edad. .....	27

## RESUMEN

El heno de canola (*Brássicas napos*) tiene potencial como fuente de fibra y proteína; sin embargo, se ha estudiado poco como insumo en la alimentación de corderos en engorda intensiva. Por otra parte, el heno de avena (*Avena sativa*) es utilizado en la alimentación de rumiantes y tiene un aporte equilibrado de nutrientes. Además, la adición de Zn-metionina (Zn-mes) en dietas para corderos engordados en corral favorece la acumulación de grasa y grado de marmoleo de la carne. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar *in vitro* dietas para corderos en engorda con la sustitución de heno de canola por heno de avena con la inclusión de zinc orgánico. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial de tratamientos heno de canola (0, 15 y 30%), heno de avena (0, 15 y 30%) y Zn-met (0 y 80 ppm). Las dietas fueron incubadas por 72 h (Menke y Staingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994). La composición nutritiva promedio (g kg<sup>-1</sup> MS) del heno de canola fue: MS (966.16), MO (871.08), PC (164.46), FDN (450.68) y FDA (321.34). Además, la inclusión de ambas fuentes de forraje no afectó (P>0.05) los parámetros de fermentación *in vitro* para: la máxima asíntota ( $\beta_1$ ) de producción de gas los valores estuvieron entre 135-168 mL g<sup>-1</sup> MS, Y<sub>max</sub>/2, punto de inflexión de la curva ( $\beta_2$ ) oscilo entre 10.62 - 14.12 h, tasa fraccional de degradación ( $\beta_3$ ) (0.23 – 0.27 g MS h<sup>-1</sup>) y degradabilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) estuvo entre 598.92 – 633.55 g kg<sup>-1</sup> MS y la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN) oscilo entre 387.57 – 426.78 g kg<sup>-1</sup> MS. Se concluye que, la sustitución de heno de avena por heno de canola más la adición de Zn orgánico no afecta los parámetros de fermentación y la degradabilidad *in vitro* de la materia seca. La degradabilidad de la FDN fue afectada por la suplementación de zinc orgánico y el tipo de heno en la dieta.

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

## ABSTRACT

Canola hay (*Brassica napus*) has potential as a source of fiber and protein; However, it has been little studied as an input in the feeding of intensively fattened lambs. On the other hand, oat hay (*Avena sativa*) is used in feeding ruminants and has a balanced supply of nutrients. Furthermore, the addition of Zn-methionine (Zn-met) in diets for free-range lambs favors the accumulation of fat and the degree of marbling of the meat. Therefore, the objective of this research was to evaluate *in vitro* diets for fattening lambs with the replacement of canola hay with oat hay with the inclusion of organic zinc. A Completely Randomized Design was used with a factorial arrangement of treatments: canola hay (0, 15 and 30%), oat hay (0, 15 and 30%) and Zn-met (0 and 80 ppm). The diets were incubated for 72 h (Menke and Staingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994). The average nutritional composition (g kg<sup>-1</sup> DM) of canola hay was: DM (966.16), OM (871.08), CP (164.46), NDF (450.68) and ADF (321.34). Furthermore, the inclusion of both forage sources did not affect (P>0.05) the *in vitro* fermentation parameters for: the maximum asymptote ( $\beta_1$ ) of gas production, the values were between 135-168 mL g<sup>-1</sup> DM, Y<sub>max</sub>/2, inflection point of the curve ( $\beta_2$ ) ranged between 10.62 - 14.12 h, fractional degradation rate ( $\beta_3$ ) (0.23 - 0.27 g DM h<sup>-1</sup>) and *in vitro* degradability of dry matter (IVDDM) was between 598.92 - 633.55 g kg<sup>-1</sup> DM and the *in vitro* digestibility of neutral detergent fiber (IVDADF) ranged between 387.57 - 426.78 g kg<sup>-1</sup> DM. It is concluded that the replacement of oat hay with canola hay plus the addition of organic Zn does not affect the fermentation parameters and the *in vitro* degradability of the dry matter. NDF degradability was affected by organic zinc supplementation and the type of hay in the diet.

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

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de carne de ovino en México es insuficiente para abastecer la demanda nacional, alrededor de 30 % de la carne consumida en el país es importada del extranjero (Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, Chile y Uruguay). Por ello, es necesario buscar alternativas que generen la implementación de nuevas prácticas pecuarias para volver a los sistemas de producción, cada vez más competitivos (De Lucas y Arbiza, 2006). Al respecto, la búsqueda de productos como los aditivos alimenticios para mejorar el crecimiento y reducir los periodos de engorda en ovinos es una constante en los últimos años (Mondragón *et al.*, 2012). Por otra parte, se sabe que la alimentación de los rumiantes está basada en forrajes, se busca que estos sean capaces de satisfacer las necesidades nutricionales. Los forrajes son la parte principal de la dieta de los rumiantes y proporcionan energía, proteína, vitaminas y minerales (NASEM, 2016), sin embargo, debemos aprender a seleccionar los forrajes de acuerdo a los objetivos de producción y la zona en la que nos encontramos para aprovechar los recursos. El heno de canola (*Brassica napus L.*) puede ser una buena alternativa para la producción de forraje en las regiones áridas y semiáridas de México, ya que produce forraje nutritivo con mayor eficiencia en el uso del agua (Reta *et al.*, 2008), en este aspecto tendría beneficio por la cuestión de manejo ya que estaríamos hablando de un forraje con mayor adaptación. Debemos tomar en cuenta la composición, es un forraje caracterizado por altos porcentajes de proteína, en este sentido la pasta de canola ha demostrado soportar el aumento de peso de estos animales productores de carne (Wiese, 2004).

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Situación actual de la producción ovina en México**

México cuenta con una producción ovina encaminada a la producción de carne, y es importante recalcar que su inventario a lo largo de los años se ha mantenido y que su crecimiento no se ha visto acelerado. El inventario nacional es de 8.7 millones de ovinos en 50,000 unidades de producción y de éstas, 34 % de los productores viven de su crianza. La zona templada del centro del país tiene una amplia tradición en la producción de ovinos y demanda 85 % de la carne de cordero consumida a nivel nacional (INEGI, 2023). Actualmente, la demanda nacional no se ha logrado cubrir por lo que se recurre a la importación de carne de ovino. Los estados con mayor producción ovina en México son el Estado de México con 1 millón 300 mil cabezas, Hidalgo con 1 millón cien mil y Veracruz con 714 mil cabezas (SAGARPA, 2020; SIAP, 2023). El futuro de la carne de ovino tiene alto potencial, su producción se ha mantenido en aumento y existe un buen panorama, sobre todo para las canales magras y livianas (De Lucas y Arbiza, 2006).

### **2.2 Sistema de producción intensivo en México**

En México, el ganado ovino es de tipo criollo y un porcentaje bajo es encaste de razas puras como: Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Corriedale (SIAP, 2023). Debido a lo anterior, México requiere mejorar su ganadería ovina, dando oportunidad al ganado criollo y las condiciones apropiadas donde tiene gran peso la nutrición que debe ser basada en dietas balanceadas acorde a sus requerimientos. En México la crianza ovina se basa en tres sistemas de producción, que son caracterizados por tener unidades de producción en sistemas extensivo y semi-intensivo, con menor proporción el sistema intensivo. Las características del sistema intensivo son: alojamiento, atención veterinaria, dietas integrales, pastos cortados, ensilados, henificados y concentrados (Niderkorn *et al.*, 2015). Lo anterior, implica aumento en los costos de producción, sin embargo, al ser más eficiente nos permite producir más en menor tiempo, siendo éste un mecanismo compensatorio.

### **2.3 Características del forraje de canola**

La formulación de dietas en rumiantes y las exigencias han hecho que surjan otras alternativas para la inclusión de alimentos proteicos y altos en componentes fitogénicos como la canola. El cultivo de canola es el nombre registrado para el nabo o colza (*Brassica*

*campestris* y *B.napus*) cuando contiene menos de 2% de ácidos grasos y menos de 30 mmoles de alcanilglicosinolatos por gramo de materia seca (Bell, 1993), siendo este un factor anti-nutricional que pueden afectar el rendimiento del animal.

#### **2.4 Requerimientos nutricionales de zinc en el ganado**

Los requerimientos mínimos para animales de granja varían con la especie, raza, edad y función productiva, además de la composición de la dieta, en particular la proporción de constituyentes orgánicos e inorgánicos que afectan su absorción, fitatos y calcio. El requerimiento mínimo de Zn para los rumiantes cambia con la forma química de combinación en la cual el elemento ocurre con otros componentes de la dieta. Los requerimientos de Zn propuestos para los rumiantes varían de 20 a 40 ppm. En el caso de los corderos, Mills (1989) sugirieron que 7 ppm de Zn en la dieta era suficiente para el crecimiento, pero que se necesitaban 15 ppm para mantener niveles normales de Zn en la sangre. Underwood y Suttle (1999) concluyeron que un consumo 17 ppm de Zn aparentemente era adecuado para el crecimiento de corderos machos, pero inadecuado para un desarrollo y función testicular normal. Esto último fue mejorado significativamente por un consumo dietético de 32 ppm de Zn (McDowell y Arthington, 2005). El máximo tolerable para bovinos y ovinos es de 500 y 300 ppm, respectivamente (NRC, 2007).

#### **2.5 Características de Zn-met en la dieta de los ovinos**

El zinc mineral se considera un componente básico en la dieta de los rumiantes, ya que está involucrado de manera directa en el metabolismo de carbohidratos, ácidos nucleicos, lípidos y proteínas (Vierboom *et al.*, 2003); además, estudios realizados en bovinos reportan que el Zn tiene efecto sobre la ganancia diaria de peso (GDP), rendimiento en canal y marmoleo de la carne (Spears y Kegley, 2002); no obstante, se desconoce el efecto de este elemento sobre la tipificación fibrilar, del mismo modo, se desconoce si el zinc orgánico y el zinc inorgánico se encuentran en un punto comparativo. Además, participa en el metabolismo de los ácidos nucleicos, consecuentemente en la reproducción celular, por ello forma parte importante de las células con mayor desgaste (piel, pelo, cuernos, pezuñas, córnea del ojo, mucosa del tracto digestivo, testículos, entre otras). Este mineral, tiene un papel decisivo en las funciones biológicas, siendo fundamental en la expresión génica, síntesis de proteínas (ADN y ARN), metabolismo de ácidos grasos insaturados, sistema inmunológico, producción de la hormona

del crecimiento (GH), somatomedina-C, fosfatasa alcalina, colágeno, osteocalcina, almacenamiento y liberación de insulina, así como testosterona, hormonas tiroideas y vitamina D. Además, de participar en el crecimiento y desarrollo del organismo, debido a que regula el consumo de alimento, mejora las características reproductivas e interviene en los procesos de maduración sexual (Brzóska y Moniuszko-Jakoniuk, 2001; Maret, 2006; Maret y Li, 2009).

Es componente indispensable en más de 300 metaloenzimas (Cuadro 1) y es un oligoelemento clave para mejorar las funciones inmunológicas.

**Cuadro 1. Función en el metabolismo de metaloenzimas y enzimas lipogénicas.**

<b>Enzima</b>	<b>Función</b>
Anhidrasa carbónica	Transporte de CO <sub>2</sub>
Alcohol deshidrogenasa	Oxidación de alcoholes
Retinol deshidrogenasa	Oxidación de retinol (Vitamina A)
Fosfatasa alcalina	Hidrólisis de grupos fosfatos
D-gliceraldehído 3-Fosfato deshidrogenasa	Glucólisis
Fructosa 1-6 difosfatasa	Gluconeogenesis
Málico deshidrogenasa	Ciclo de Krebs (malato-oxalato)
Láctico deshidrogenasa	Piruvato-Lactato (Anaerobiosis)
Alfa manosidasa	Hidrólisis de polímeros de manosa (Glicoproteínas)
Glutámico deshidrogenasa	Alfa-ceto glutarato +NH <sub>4</sub> =Glutamato
Ácido aminolevulinico deshidratasa	Síntesis del grupo hemo
Leucin aminopeptidasa	Degradación de polipéptidos
Dipeptidasa	Degradación de dipéptidos
Colagenasas	Degradación de matriz extracelular
Carboxipeptidasas A y B pancreáticas	Digestión de proteínas
ADN polimerasa	Síntesis de ADN
ARN polimerasa	Síntesis de ARN
Timidina quinasa	Síntesis de timidina 5- fosfato
Ribonucleasa	Degradación de ARN

Cu-Zn superóxido dismutasa	Antioxidante citosólico
Lipoproteína lipasa (LPL)	Captación de ácidos grasos
Hormona sensitiva lipasa (HSL)	Marmoleo de la carne
Glicerol-3- fosfato aciltransferasa (GPAT1)	Esterificación de ácidos grasos
Aciltransferasa diglicérido (DGAT1)	Marmoleo de la carne y grasa intramuscular
Acetil-CoA carboxilasa (ACC)	Procesos lipogénicos
Monoglicérido lipasa (MGL)	Terneza y contenido de ácidos grasos

Modificado de Underwood y Suttle (1999); Malcolm-Callis *et al.* (2000).

## 2.6 Efecto de fuentes naturales de lípidos en la alimentación de rumiantes

El uso de aceites de semillas como fuente de grasas puede mejorar el consumo de alimento y el perfil de ácidos grasos de cadena larga, así como una mayor concentración energética y proteica. La semilla de canola, también conocida como colza, contiene alrededor de 40 - 55% de aceite, 25 - 38% de proteína y 15 - 20% de fibra (Nguyen *et al.* 2018). Aunque el ácido oléico es el principal ácido graso en aceite de canola, el ácido alfa-linolénico (ALA) representa alrededor de 10% del total de ácidos grasos. Nguyen *et al.* (2018) confirman que la canola es uno de los más importantes cultivos económicamente alimentarios-oleaginosos.

Por otra parte, la canola ensilada puede contener 21.5% de MS con 12.8% PC, 4.35% EE, 50% FDN, 43.4% FAD, 5.71% LAD, 2.14 Mcal de EM/kg MS; mientras que la degradabilidad del N es del 70%. Asimismo, la semilla de colza contiene: 91.2% MS, 86% MO, 19% PC, 40.7% EE, 17% FDN, 12.7% FAD, 3% LAD, 0.08% C14:0, 1.93% C16:0, 0.15% C16:1, 0.77 C18:0, 21.65% C18:1, 8.51% C18:2, 3.48% C18:3, con 15% de digestibilidad de PC en rumiantes (FEDNA, 2016). La inclusión de semilla de canola, rolada, entera y molida con una dieta base de concentrado comercial y ensilado de maíz *ad libitum* en corderos mostró efectos adversos sobre la ganancia de peso y la digestibilidad de la materia seca; no obstante, el pH ruminal, las concentraciones molares de AGV no fueron afectadas por los tratamientos (Huard *et al.*, 1997). La inclusión vía ruminal de aceite de canola (1 kg) en vacas lecheras afectó la digestibilidad de la MS, MO, FDN y FAD. Pero incremento las proporciones molares de ácido propiónico, mientras que la proporción molar de ácido acético disminuyó (Ferlay y Doreau, 1992). Similares hallazgos fueron encontrados

por Hussein *et al.* (1995) en la utilización de semilla de canola sobre la digestión de la MO, carbohidratos y energía en novillo.

Además, en la alimentación en rumiantes se pueden usar diferentes tipos de aceites. Entre los aceites vegetales que son ricos en ácido linoleico, se encuentran los de soya, girasol, cártamo y semilla de algodón (Shingfield *et al.*, 2013), mientras que la linaza y los aceites de canola son abundantes en ácido  $\alpha$ - linoleico (Nguyen *et al.* 2018). Además, distintos trabajos reportan los beneficios de la inclusión de canola y otras semillas en la alimentación. Por ejemplo, Van Le *et al.* (2019) concluyeron que es necesaria la suplementación de corderos con gránulos mejorados con PUFA en un sistema de corral de engorde para aumentar el contenido de n-3 LC-PUFA en el músculo *Longissimus dorsi*. Los corderos en tratamientos con canola (CO), semilla de lino (FSO), cártamo (SO) rumen protegido (RPO) tuvieron contenidos de EPA + DHA en el músculo *Longissimus dorsi* que estaban por encima del nivel de "fuente" declarable de omega-3 según lo estipulado por las normas alimentarias de Australia y Nueva Zelanda. La suplementación de corderos con aceites de origen vegetal, incluyendo la canola, el salvado de arroz, la linaza y el cártamo tuvieron efectos similares sobre el contenido de n-3 LC-PUFA en músculo *Longissimus dorsi* de corderos. El tratamiento FSO tuvo el mayor contenido de ALA en los tejidos del músculo, hígado y corazón.

Por otro lado, Quiñones *et al.* (2019) reportaron mejoras en las características de la carne como el color y la capacidad de retención de agua por el aceite de canola (1.7% MS), esta podría ser una estrategia para mejorar las características culinarias de la carne de corderos. En ese estudio el aceite de canola aumentó la cantidad de grasa intramuscular, la relación ácidos grasos insaturados/ ácido graso saturado y produjo índices de salud por debajo de los valores recomendados. En contraparte Majewska *et al.* (2016) no recomiendan la adición de semilla de girasol para la nutrición del cordero como factor de mejora en la calidad de la carne. Debido a que, en el almacenamiento de carne a corto y largo plazo aumentó el total de ácidos grasos, ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados y, peculiarmente, también concentraciones de PUFA. Dichas alteraciones podrían estar asociadas con cambios hidrolíticos que ocurren durante el almacenamiento del refrigerado.

## 2.7 Metabolismo de lípidos

### 2.7.1 Importancia de los lípidos en los animales

Los lípidos son compuestos insolubles en agua, constituidos principalmente por triglicéridos. Una gran parte de los piensos que se suelen ofrecer a los rumiantes contienen escasas concentraciones de lípidos (5% o menos) a excepción de las semillas oleaginosas o los suplementos de aceite / grasa (Nguyen *et al.* 2018). Los lípidos tisulares y la grasa de la leche en rumiantes contienen niveles muy altos de ácidos grasos saturados (AGS) en comparación con la ingesta dietética, que es, al menos en parte, debido a una extensa lipólisis y posterior biohidrogenación de ácidos grasos insaturados en el rumen. A nivel ruminal, las bacterias son las primeras responsables del proceso que sirve para disminuir los efectos tóxicos de las dietas con ácidos grasos insaturados sobre el crecimiento bacteriano (Shingfield *et al.*, 2012). La lipólisis representa el primer paso del metabolismo total de los lípidos de la dieta y, en estados normales, más del 85% de lípidos dietéticos esterificados están en forma de galactolípidos, fosfolípidos y triglicéridos que se hidrolizan (Palmquist *et al.*, 2005; Buccioni *et al.*, 2012). Al respecto, se ha alcanzado un progreso significativo en la caracterización de los intermediarios conformados durante la biohidrogenación ruminal de ácidos grasos insaturados, los mecanismos implicados, así como en algunas de las especies bacterianas responsables (Jenkins *et al.*, 2008; Lourenço *et al.*, 2010; Shingfield *et al.*, 2010).

Por otra parte, estudios recientes *in vitro* han demostrado que, una amplia gama de intermedios de la fermentación, se forman durante las incubaciones de sustratos puros de ácidos grasos con líquido ruminal o cepas puras de bacterias ruminales (Jenkins *et al.*, 2008; Lourenço *et al.*, 2010; Buccioni *et al.*, 2012). Para la mayoría de las dietas, la biohidrogenación ruminal de cis-9 18: 1, 18: 2n-6 y 18: 3n-3 varía entre 58 a 87%, 70 a 95% y 85 a 100%, respectivamente (Glasser *et al.*, 2008; Shingfield *et al.*, 2010), indicando que con excepción de las dietas que contienen aceite de pescado o lípidos marinos, el ácido 18:0 es el principal que sale del rumen. No obstante, los ácidos grasos disponibles para la absorción también se derivan de bacterias y protozoos del rumen. Los ácidos grasos microbianos, principalmente en forma de lípidos estructurales de membrana, se originan por biohidrogenación y utilización de ácidos grasos dietéticos y por síntesis *de novo* de ácidos grasos. La síntesis *de novo* de ácidos grasos es también responsable de la ocurrencia de

cadena raras y ramificadas de ácidos grasos en los lípidos de la membrana de las bacterias del rumen.

### **2.7.2 Absorción y transporte de lípidos**

La mayoría de los lípidos de la dieta experimenta lipólisis en la cual se liberan ácidos grasos libres. Por lo anterior los ácidos grasos insaturados libres se someten a biohidrogenación. Los ácidos hacia al intestino delgado se encuentran sobre todo en forma saturada, aunque esto depende de la fuente de lípidos. El flujo (g/d) de ácidos grasos hacia el intestino delgado es a menudo muy similar a la ingesta de lípidos en la dieta (Swanson 2019). Alrededor de 90% de los ácidos grasos de la dieta llegan al intestino delgado como ácidos grasos saturados no esterificados (Ferlay y Doreau, 1992). Los triglicéridos y fosfolípidos que escapan a la lipólisis ruminal pueden hidrolizarse mediante lipasas y fosfolipasas pancreáticas.

Los ácidos grasos que contienen hasta 12 átomos de carbono son absorbidos por el epitelio ruminal, mientras que los ácidos grasos grandes se conforman en micelas con la cooperación de los ácidos biliares para su absorción. Estos ácidos grasos luego se re esterifican en gran proporción en la pared intestinal y se transportan al torrente sanguíneo a través de la linfa. No parece haber una relación entre el flujo de ácidos grasos al intestino delgado y la digestibilidad. Ferlay y Doreau (1992) indicaron que la digestión de lípidos en intestino delgado no está incapacitada por la actividad enzimática o de transporte cuando menos con las concentraciones de lípidos que se encuentran habitualmente en las dietas de rumiantes. No obstante, los mecanismos implicados en la digestión y absorción de los ácidos grasos en el intestino delgado de los rumiantes están bien descritos (Shingfield *et al.*, 2012). Además, el tránsito a través de las células epiteliales intestinales, la asimilación de ácidos grasos principalmente en forma de ácidos grasos no esterificados (NEFA), esterificados a glicerol, fosfolípidos (FL) y ésteres de colesterol (EC) se utilizan en el ensamblaje de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) y quilomicrones que ingresan a la circulación periférica a través del conducto torácico.

Finalmente, la mayoría de los ácidos grasos transportados en el plasma circulan como EC y FL dentro de las lipoproteínas de alta densidad (HDL), aunque los triacilgliceroles (TAG) y NEFA generalmente representan menos de 3% del total lípidos plasmáticos (Shingfield *et al.*, 2012). Sin embargo, pequeñas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados absorbidos se

incorporan en su mayoría en EC y FL de HDL circulante, que se cree que surge de la acción de las aciltransferasas durante la síntesis de FL en enterocitos y en la activación de la lecitina: colesterol aciltransferasa en plasma y constituye un mecanismo para limitar la cantidad de ácidos grasos esenciales empleados para la síntesis de grasas lácteas y en la oxidación (Shingfield *et al.*, 2012).

## **2.8 Biohidrogenación de ácidos grasos insaturados**

El rumen carece de oxígeno molecular, la oxidación de ácidos grasos a CO<sub>2</sub> y agua por parte de microbios del rumen está ausente. Por lo tanto, la eliminación de átomos de hidrógeno se produce a través de la reducción de dobles enlaces en ácidos grasos insaturados para producir ácidos grasos saturados, este proceso sirve como un mecanismo de defensa para la supervivencia y actividad de los microbios (Jenkins y Bridges, 2007). Debe señalarse, que estos ácidos grasos insaturados, se liberan de la hidrólisis de triglicéridos, se isomerizan primero y luego se hidrogenan ampliamente por bacterias y protozoos para producir ácidos grasos saturados.

Los forrajes de los rumiantes, por lo general, contienen 2-3% de ácidos grasos, con una mayor proporción de ácidos grasos insaturados a ácidos grasos saturados que las dietas para no rumiantes. Por ejemplo, el ácido  $\alpha$ -linolénico (C18: 3; cis-9, cis-12, cis15) representa 61% del total de ácidos grasos en el pasto (Palmquist, 1995). En contraste, el ácido linoleico (C18: 2; cis-9, cis-12) es el ácido graso predominante en los granos de cereales. De hecho, los principales sustratos para la biohidrogenación son los ácidos linoleico y linolénico. La tasa de la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos suele ser más rápida con una mayor insaturación. Para la mayoría de las dietas, el ácido linoleico y el ácido linolénico se hidrogenan en una proporción de 70 a 95% y de 85 a 100%, respectivamente, con el ácido esteárico (C18: 0) como producto principal (Beam *et al.*, 2000).

Además, en el proceso de biohidrogenación también está implicada la isomerización como reacción inicial, lo que resulta en la formación de muchos compuestos intermedios con dobles enlaces trans o ácidos grasos conjugados (producción de ácido linoleico conjugado y ácido vaccénico a partir de ácido linoleico) y grasas saturadas. Por ejemplo, una isomerización del doble enlace cis-12 a una configuración trans-11 genera un ácido graso di- o trienoico conjugado. Luego, una reducción del doble enlace cis-9 produce un ácido graso trans-11.

Finalmente, la hidrogenación del doble enlace trans-11 produce ácido esteárico (vías del ácido linoleico y linolénico) o trans-15 18:1 (vía del ácido linolénico). Es por esto, que los dos intermedios clave de la biohidrogenación son: ácido vaccénico (trans-11 18:1) que se forma a partir de los ácidos linoleico y linolénico; y ácido linoleico conjugado (cis-9, trans-11), que se forma a partir del ácido linoleico. Son factibles ocho isómeros posicionales de ácido linoleico conjugado (CLA), pero el producto predominante en el rumen es el isómero cis-9, trans-11. Así mismo, en el rumen, > 90% de los ácidos grasos poliinsaturados están hidrogenados, y <10% de ellos escapan del rumen (Drackley *et al.*, 2007).

## **2.9 Fuentes y disponibilidad de zinc**

Los piensos y forrajes son la principal fuente de zinc en los animales. El contenido de zinc de una planta depende de condiciones como el estado del suelo, especie, estado de madurez y condiciones de cultivo. Cuando los suelos son deficientes en zinc producen plantas con contenido escaso de zinc; sin embargo, la aplicación de fertilizantes de zinc puede aumentar su concentración en las plantas hasta tres veces (Mir *et al.*, 2018). En cuanto a la concentración de zinc en pastos en todo el mundo varía entre 25 y 50 ppm (rango de 10 a 75 ppm) (McDonald *et al.*, 2007). Por ejemplo, el contenido medio del zinc de la paja de trigo, paja de arroz, trébol mediterráneo, avena, sorgo y maíz en Haryana, India son 17.08, 16.74, 36.56, 32.61, 17.35 y 18.18 ppm, respectivamente; con estimaciones por debajo del nivel crítico de 40 ppm (Aliarabi, 2005). Por lo tanto, la suplementación con zinc para los rumiantes se convierte en una necesidad (Mir *et al.*, 2018). Por una parte, los henos tienden a contener menor zinc que los ensilados. El salvado y el germen de los cereales contienen alto contenido de zinc. El suelo es rico en zinc, este se asocia con las proteínas, por lo que las legumbres tienen alto potencial de transportarlo, las legumbres tienden a mostrar una amplia variación en el contenido de zinc mientras que permanece prácticamente igual en otros forrajes. Sobre la excepción de la influencia del estado del suelo, el contenido de zinc de los granos de cereales varía poco entre las especies de plantas. Las pajas de las plantas de cereales tienen bajo contenido de zinc y pueden contener solo un tercio en los granos, en su mayoría menos de 12 ppm (Mir *et al.*, 2018).

## 2.10 Inclusión zinc en la dieta y su efecto en producción animal

Diversos trabajos reportan la importancia de la inclusión de zinc, en diferentes formas, en la dieta que repercuten en rumiantes y pequeños rumiantes. Debido a esto se notaron cambios beneficios, como la expresión de ácidos grasos en la carne y leche. Para finalizar, el zinc se puede suministrar a los animales en los suplementos, en diversas formas orgánicas e inorgánicas (Mir *et al.*, 2018). La fuente más común de zinc en el suplemento es sulfato de zinc (zinc inorgánico) que se suministra a los animales a través de mezclas de minerales añadidas a dietas concentradas. Las otras fuentes de zinc que pueden ser agregados a la dieta de los animales incluyen a aditivos orgánicos (proteinato de Zn, Zn-metionina, Zn-glicina, propionato de Zn), hidroxido y nano zinc. Es complejo definir la biodisponibilidad del zinc de diferentes suplementos, debido a la falta de marcadores confiables del estado del zinc. Por lo tanto, en la mayoría de los estudios, las fuentes de zinc orgánicas tienden a ser más biodisponibles que las fuentes inorgánicas (sulfato de Zn, óxido de Zn y cloruro de Zn) (Wright y Spears, 2004).

Por lo anterior, los hallazgos de trabajos de diferentes autores son descritos a continuación: Vellini *et al.* (2020) reportaron datos que sugieren sobre los toros Nellore mantenidos en corral de engorde y alimentados con una combinación de un complejo de aminoácidos Zinc (ZnAA) y metionina Cromo (Zn-Cr) tienen una mayor eficiencia en la utilización del alimento y tendencia a una mayor terneza de la carne. El área del músculo *Longissimus* tiende a aumentar en los toros alimentados con Zn-Cr, en comparación con los toros alimentados con ZnAA. La alimentación de un complejo de aminoácidos Zn suplementario y Cr-Met puede ser un tratamiento rentable debido a una mayor eficiencia alimenticia; sin embargo, el tipo de dieta, el método de procesamiento del alimento, la dieta y la suplementación, en general, los niveles podrían afectar de manera diferencial la respuesta del animal a la suplementación con Zn y Cr en complejos con aminoácidos. Rodríguez-Gaxiola (2015), reportó que al adicionar CZ (clorhidrato de zilpaterol) x ZM (Zn-met) se observa efecto de la interacción sobre el espesor de grasa dorsal y contenido de grasa intramuscular; en ambos casos, el efecto de suplementarlos juntos disminuye la cantidad de grasa. Ianni *et al.* (2019) reportaron resultados que sugieren un papel positivo del zinc en la mejora las propiedades nutricionales y nutraceuticas de la leche y del queso. La estrategia de alimentación puede modificar la calidad del queso Giuncata obtenido de vacas lecheras lactantes. El principal

hallazgo se refiere al aumento de la cantidad de ácido oléico, ácido vaccénico y CLA, a expensas de ácidos grasos saturados (SFA), apoyando la hipótesis que el consumo de estos productos podría tener efectos positivos en la salud humana. Además, los perfiles de ácidos volátiles de los productos lácteos se vieron afectados por la ingesta dietética de zinc.

Elgendy *et al.* (2017) reportaron que este estudio proporciona evidencia sobre la indicación transcriptómica de la suplementación extra de Zn en la dieta en ovejas lactantes. Esta indicación refleja principalmente un efecto de modulación transcripcional inducido por Zn, especialmente en la transducción de señales celulares, contractilidad cardíaca, y el nivel del sistema inmunológico. Chikwanha *et al.* (2018) reportaron que, en la actualidad, la carne roja se considera una fuente poco saludable de grasa por consumidores debido a sus altos niveles de SFA y bajo PUFA en algunas condiciones actuales de alimentación (es decir, alta calidad y cantidades de forraje). También, los perfiles de FA de la carne de ovino pueden mejorarse nutricionalmente, a través de estrategias con alimentación con suplementos ricos en PUFA, piensos con niveles más altos de compuestos fenólicos y polifenol oxidasa, pero aún debemos continuar por aprender sobre cómo controlar la biohidrogenación ruminal, los procesos para optimizar la composición de AG de carne de ovino.

### **2.11 Efectos del zinc sobre el metabolismo lipídico**

El zinc, de manera natural, se encuentra en forrajes y piensos que son consumidos por los animales. Así mismo, la concentración de zinc de pastos en todo el mundo varía entre 25 y 50 ppm, también los diferentes granos de cereales tienen una variación de concentración de zinc. El zinc puede suministrarse a los animales en dietas en su forma orgánica e inorgánica. No obstante, las otras fuentes de zinc que pueden ser agregados a la dieta de los animales incluyen a aditivos orgánicos e inorgánicos; con resultados contrastantes sobre la respuesta productiva de rumiantes. Diferentes trabajos reportan la importancia de la inclusión de zinc, en diferentes formas, en la dieta que repercuten en rumiantes y pequeños rumiantes. Debido a esto se notaron cambios benéficos, como la expresión de ácidos grasos en la carne y leche. Del mismo modo, la alimentación de rumiantes con aminoácidos Zinc (ZnAA) y metionina Cromo (Zn-Cr) han evidenciado mayor eficiencia en la utilización del alimento y beneficio en la terneza de la carne. Sin embargo, la administración en dietas altas en cereales produce cambios en PUFA y sus intermediarios como los AG vaccénico (VA) y ruménico (AR), esto

último sugiere efectos positivos en salud humana. Por tal razón, se requiere mayor investigación sobre la inclusión de zinc en la alimentación de rumiantes.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La utilización de heno de canola (*Brassica napus*) en la alimentación de pequeños rumiantes es baja. Sin embargo, su contenido de nutrientes puede ser atractivo para conferir a la carne y leche propiedades nutraceuticas. La planta de canola, mediante la fotosíntesis, transforma elementos simples en complejos. De esta forma acumula fotoasimilados que pueden ser transportados a las células sumidero, entre los que destacan carbohidratos, proteínas y lípidos. Y son estos últimos los que toman importancia en el metabolismo lipídico. Al respecto, la utilización de forraje de canola en vacas lecheras muestra que la concentración plasmática de los ácidos grasos poli insaturados es similar a la dieta control con concentrado (Seguel *et al.*, 2020). Por otra parte, se ha reportado que, en tallo, hoja y peciolo el contenido de glucosinolatos varía de 1.42 hasta 6.74 % (Griffiths *et al.*, 1994). No obstante, las mejoras biotecnológicas han permitido en la semilla de canola disminuir la presencia de glucosinolatos en contenidos de 30  $\mu\text{mol/g}$  máximos (Canola Council of Canada, 2024). Además, puede ser encontrado en órganos reproductivos de la canola. Por una parte, la presencia de este metabolito secundario se ha relacionado a una actividad fito tóxica en mamíferos (Duncan, 1991). Una propiedad nutraceutica del forraje de canola y otros vegetales crucíferos es que pueden reducir el riesgo y número de tumores y cánceres (Lampe y Peterson, 2002, Vallejo *et al.*, 2002). Recientemente, se ha reportado actividad anticancerígena (Prakash y Sharma, 2014). Por tales razones, esta investigación postula que el uso de forraje de canola puede cambiar el metabolismo ruminal y mejorar las cualidades nutraceuticas de la carne de rumiantes alimentados con este tipo de heno.

#### **4. OBJETIVOS**

Evaluar el efecto de la sustitución de heno de avena por heno de canola y la combinación con zinc orgánico en dietas para corderos sobre la fermentación y degradabilidad ruminal *in vitro*.

##### **Específicos**

- Determinar la composición química de los ingredientes de las dietas.
- Estimar los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* de dietas con la sustitución de heno de avena por heno de canola con la inclusión de zinc orgánico.
- Determinar la degradabilidad ruminal *in vitro* de la materia seca y fibra detergente neutro.

## **5. HIPÓTESIS**

La sustitución de heno de canola por heno de avena más zinc orgánico en raciones totalmente mezcladas para corderos en crecimiento y finalización puede afectar los parámetros de fermentación y degradabilidad ruminal de los componentes de la pared celular *in vitro*.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Establecimiento de los cultivos de canola y avena

Inicialmente se estableció el cultivo de canola en los campos de la Posta Zootecnia de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México (Figura 1).



**Figura 1. Cultivo de forraje de canola con 114 d de edad.**

Al término del periodo de crecimiento, la canola fue cortada, secada y triturada en molino de martillos (Figura 2).



**Figura 2. Corte del forraje de canola con 114 d de edad.**

La avena fue establecida en junio de 2023 con una densidad de siembra de 120 kg/ha de semilla y una fertilización con 150 kg/ha de urea agrícola. La superficie sembrada fue de 4000 m<sup>2</sup> (Figura 3). El forraje fue cortado y molido en molinos de martillos.



**Figura 3. Cultivo de avena forrajera variedad Chihuahua y forraje molido con 150 d de edad.**

De este forraje se obtuvieron muestras, las cuales serán analizadas para contenido de nutrientes. Se formularán dietas con niveles de canola de 0, 150 y 300 g kg<sup>-1</sup> MS de inclusión más dos niveles de Zn-Met (0 y 80 mg/kg).

## **6.2 Composición química**

Las muestras de forraje de canola e insumos fueron analizadas para determinar su composición química. Las muestras se secaron en estufa de aire forzado a 65°C por 72 h (AOAC, 1997) para determinar materia seca (MS) y se molieron en Molino Wiley (Malla 1 mm; Model 4 Thomas Scientific Swedes, NJ). Se determinó proteína cruda (Kjeldhal, N×6.25) y materia orgánica (incineración en mufla a 550 °C) según la AOAC (1997). La

fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y lignina detergente ácido se realizó de acuerdo con Van Soest *et al.* (1991) y método ANKOM.

### 6.3 Dietas experimentales

Se formularon seis dietas (tratamientos) isoenergéticas (2.69 Mcal kg<sup>-1</sup> MS) e isonitrogenadas (145 g PC kg<sup>-1</sup> MS) para corderos en crecimiento de 25 kg peso vivo (PV), edad (5 meses) y ganancia diaria de peso (GDP) estimada de 250 g con el programa Aries 2007©.

Los tratamientos fueron diseñados a base de forraje de canola, heno de avena, maíz molido, pasta de soya, salvado de trigo, aceite vegetal, bicarbonato de sodio, carbonato de calcio y premezcla de vitaminas y minerales. La composición de los tratamientos en base seca (Cuadro 2) se muestra a continuación:

**Cuadro 2. Composición y aporte nutrimental de las dietas experimentales diseñadas para corderos y evaluadas *in vitro*.**

<b>Ingredientes (g kg<sup>-1</sup> MS)</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
Heno de canola	0.00	0.00	150.00	150.00	300.00	300.00
Heno de avena	300.00	300.00	150.00	150.00	0.00	0.00
Maíz molido	266.25	266.25	328.33	328.33	317.08	317.08
Pasta de soya	187.69	187.69	143.30	143.30	105.11	105.11
Rastrojo de maíz	118.21	118.21	77.13	77.13	123.40	123.40
Salvado de trigo	34.71	34.71	46.28	46.28	53.99	53.99
Aceite vegetal	53.99	53.99	53.99	53.99	53.99	53.99
Bicarbonato de sodio	7.71	7.71	9.26	9.26	7.71	7.71
Carbonato de calcio	7.71	7.71	9.26	9.26	7.71	7.71
Caliza	7.71	7.71	9.26	9.26	7.71	7.71
Premezcla de vitaminas y minerales	23.14	23.14	23.14	23.14	23.14	23.14
Consumo de materia seca esperado, kg/d	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29

T1, heno de canola 0% + heno de avena 30% + 0 ppm Zn; T2, heno de canola 0% + heno de avena 30% + 80 ppm Zn; T3, heno de canola 15% + heno de avena 15% + 0 ppm Zn; T4, heno de canola 15% + heno de avena 15% + 80 ppm Zn; T5, heno de canola 30% + heno de avena 0% + 0 ppm Zn; T6, heno de canola 30% + heno de avena 0% + 80 ppm Zn.

#### 6.4 Evaluación *in vitro*

La degradabilidad *in vitro* y la cinética de producción de gas de las se evaluaron por 96 h, con seis repeticiones cada uno más un blanco y tres estándares. El fluido ruminal se obtuvo mediante sonda a las 8:30 h de dos vacas 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 de agua a 39 °C con flujo continuo de CO<sub>2</sub> bajo condiciones estériles.

Se utilizaron botellas serológicas (125 mL) con 1000 mg de muestra más una solución de elementos principales, solución amortiguadora, solución reductora y resazurina (Cuadro 3).

**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	Resazurina	Solución reductora
13.2 g CaCl <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	5.7 g Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	35.0 g NaHCO <sub>3</sub>	100 mg Resazurina	40 ml NaOH 1 N
10.0 g MnCl <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	6.2 g KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	4.0 g (NH <sub>4</sub> )HCO <sub>3</sub>	1000 ml H <sub>2</sub> O	6.2 ml Sulfuro de Na
1.0 g CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.6 g MgSO <sub>4</sub>	1000 ml H <sub>2</sub> O		950 ml H <sub>2</sub> O
0.8 g FeCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	1000 ml H <sub>2</sub> O			
100 ml H <sub>2</sub> O				

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

Finalmente, se agregaron 10 mL de líquido ruminal gaseado con CO<sub>2</sub> y se incubaron a 39 °C en baño de agua (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. La digestibilidad de la FDN de los residuos de la fermentación fue determinada según Schofield y Pell (1995). Se determinaron variables de fermentación *in vitro* para MS (materia seca), FDN (fibra detergente neutro) y MO (materia orgánica). Además, se estimaron los parámetros, máxima asíntota de producción de gas acumulado, punto de inflexión de la curva y tasa de degradación fraccional.

### **6.5 Diseño experimental y análisis estadístico.**

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 3 niveles de canola (0, 150 y 300 g/kg MS) × 3 niveles de heno de avena (0, 150 y 300 g/kg MS) × 2 niveles de Zn-Met (0 y 80 mg/kg MS). El análisis de datos se realizó con dos métodos: 1) 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 realizará con la Macro pdmix800.sas con ajuste de Tukey (P<0.05).

2). El ajuste de la curva de cinética de producción de gas *in vitro* fue realizado con el procedimiento mixto no lineal (PROC NLMIXED) para el modelo Logístico Exponencial:  $y_{ij} = \beta_1 + u_{i1}/1 + (\beta_2 + u_{i2}) e^{-\beta_3 t} + e_i$ , donde:  $y_{ij}$  = observación del jth vial que será sujeto al ith tratamiento;  $\beta_1$  = asíntota máxima de gas acumulado (mL/g MS) a las 72 h más efectos aleatorios  $u_1$ ;  $\beta_2$  = punto de inflexión de la curva (h) [Ymax/2] más efectos aleatorios  $u_2$ ; y  $\beta_3$  = tasa fraccional de degradación (% h<sup>-1</sup>). Se utilizará la técnica de optimización Quasi-Newton Dual y método de integración de primer orden (FIRO).

## 7. LIMITE DE ESPACIO

Los forrajes de canola (*Brassica napus*) y avena (*Avena sativa*) fueron establecidos en los terrenos agrícolas de la Posta zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México. Se realizó la parte inicial del análisis bromatológico para materia seca y materia orgánica de los ingredientes utilizados en las dietas experimentales en el laboratorio de bromatología del Instituto de Ciencias Agropecuarias y rurales de la Universidad Autónoma del Estado de México. La evaluación de la degradabilidad *in vitro* de la materia seca y fibra detergente neutro; así como la medición de la producción de gas se realizó en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México.

## 8. LÍMITE DE TIEMPO

El presente trabajo se desarrollará a partir del mes de febrero 2024 hasta julio de 2024 (Cuadro 4), con el siguiente cronograma de actividades:

**Cuadro 4. Cronograma de actividades de la investigación.**

<b>Actividades</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>
<b>Elaboración de protocolo</b>	X	X				
<b>Desarrollo del experimento</b>		X	X			
<b>Análisis de datos</b>		X	X	X	X	
<b>Discusión de resultados</b>		X	X	X	X	
<b>Integración del documento final</b>		X	X	X	X	X
<b>Presentación del documento</b>						X

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 Composición química de ingredientes

El análisis de bromatológico de los ingredientes (Cuadro 5) para la formulación de las dietas totalmente mezcladas (TMR) muestra valores similares ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) a los de las tablas de requerimientos del NRC (2013) (heno de avena, 100; canola molida, 400; sorgo molido, 110; pasta de soya, 490; salvado de trigo, 170; y maíz molido, 100) y FEDNA (2019) (canola molida, 360; sorgo molido, 89; pasta de soya, 470; salvado de trigo, 154; y maíz molido, 73). No obstante, hay pocos estudios donde se reporten valores nutricionales del heno de canola (*Brassica napus*), dado que la utilización del cultivo se encamina hacia la producción de semilla para la extracción de aceite (Canola Council of Canada, 2024). Por otra parte, resalta el valor encontrado de proteína cruda del heno de canola ( $164.46 \text{ g kg}^{-1}$  MS), esto pudo deberse a que fue cortada la planta completa de canola con semilla en el estado de llenado de la silicua. Se ha reportado que, en Brásicas forrajeras el contenido de PC es de 156.0 y hasta  $320 \text{ g PC kg}^{-1}$  MS (Hepp, 2011). Por otra parte, el heno de avena (*Avena sativa*) sembrado y cosechado en las parcelas demostrativas del Campus, mostró bajo contenido de proteína cruda ( $64.76 \text{ g kg}^{-1}$  MS). El contenido químico ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) del heno de avena de esta investigación fue mayor a lo reportado por Zuñiga (2020): PC, 55.20; MO, 945.1; FDN, 550.7; FDA, 335.2; y EE, 18.8. Pero, el contenido de PC de esta investigación fue similar a lo reportado por Ramírez *et al.* (2018) con heno de avena cosechado en estado de madurez ( $69.0 \text{ g kg}^{-1}$  MS) con potencial de DIVMS de 593.0 y digestibilidad aparente ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) para MS (550), PC (692.0) y FDN (251.0).

De manera interesante, se observó que el heno de canola tiene una consistencia más fibrosa que el heno de avena, lo que se corresponde con un contenido mayor de fibra detergente ácido ( $321.34$  vs  $277.93 \text{ g kg}^{-1}$  MS), sin embargo, esta diferencia es solo numérica. Al respecto, el tipo de componentes celulares de la fibra entre distintas especies de plantas puede afectar su degradabilidad, por ejemplo, las células de las hojas (células de mesófilo sin engrosamiento a excepción de los haces vasculares) y la de los tallos de la canola son cuboides con mayor engrosamiento de celulosa y lignina (Housseinpour *et al.*, 2010) a diferencia de las gramíneas (*Avena sativa*) en forma de fibras con haces vasculares distribuidos azarosamente en los tallos (Argenta *et al.*, 2022) y con células poco engrosadas

en tejidos del mesófilo. No obstante, la avena utilizada en esta investigación tenía un estado fisiológico de madurez superior a los 150 d, con varias semanas posteriores a la presencia del estado lechoso.

**Cuadro 5. Contenido químico de los ingredientes utilizados en las dietas experimentales.**

<b>Ingrediente, g kg<sup>-1</sup> MS</b>	<b>MS</b>	<b>MO</b>	<b>Cen</b>	<b>PC</b>	<b>FDN</b>	<b>FDA</b>	<b>EE</b>	<b>Cel</b>
Heno de canola	966.16	871.08	128.92	164.46	450.68	321.34	50.00	129.34
Heno de avena	929.20	936.48	63.52	64.76	514.89	277.93	24.00	236.96
Canola molida	948.56	934.62	65.38	477.01	286.14	171.17	74.00	114.98
Sorgo molido	916.22	978.55	21.45	71.72	222.74	46.97	33.00	175.77
Pasta de soya	934.84	893.05	106.95	472.46	137.25	38.38	16.70	98.86
Salvado de trigo	919.87	946.49	53.51	174.88	436.63	112.76	41.00	323.87
Maíz molido	899.71	974.87	25.13	92.15	197.98	0.00	43.00	197.98

MS, materia seca; MO, materia orgánica; Cen, cenizas; PC, proteína cruda; DFN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; EE, extracto etéreo; Cel, celulosa.

## 9.2 Composición química de los tratamientos

En el balanceo de las dietas (Cuadro 6) experimentales para borregos en crecimiento fue utilizada la composición química determinada en los ingredientes. Se observó que el contenido químico de los tratamientos mostró similar contenido de proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, lo anterior, derivado del análisis químico proximal. Además, el aporte de zinc (Zn), y contenido de energía metabolizable (EM) y energía neta de ganancia (ENg) de los tratamientos fueron estimados a partir de valores de tablas (NRC, 2013). En la nutrición animal el balanceo de dietas respecto a requerimientos específicos de nutrientes en especies pecuarias, permite ajustar las necesidades del animal y aporte de los insumos para una mejor utilización de los recursos disponibles para la producción animal (Kuntal *et al.*, 2022). En esta investigación se propuso utilizar el heno de canola como insumo alimenticio en sustitución o combinación de heno de avena. Se observó que, el heno de canola (*Brassica napus*) aporta similar cantidad de nutrientes que los tratamientos a base de heno de avena (*Avena sativa*). Zhao *et al.* (2020) reportaron la composición nutricional (g kg<sup>-1</sup> MS) del heno de canola (Huayouza 62) en dos estados de

crecimiento. a) heno de canola cortada en estado de floración: PC, 173.0; EE, 45.2; FDN, 401.1; FDA, 348.1. b) formación temprana de brote de vaina: PC, 85.0; EE, 54.1; FDN, 422.0; FDA, 338.5. Estos valores fueron similares a los encontrados en esta investigación.

Recientemente, Du *et al.* (2022) documentaron que la utilización de heno de canola (*Brassica napus*) como fuente de forraje en dietas (200 – 400 g kg<sup>-1</sup> MS) para corderos en engorda intensiva, mejoró la ganancia diaria de peso (GDP; 190 – 204 g d<sup>-1</sup>) vs el tratamiento testigo (120 g d<sup>-1</sup>), así mismo disminuyó la conversión alimenticia (CA; 6.51 – 6.7) vs el testigo (9.89), los autores de esa investigación postulan que este comportamiento fue debido probablemente a que durante la fermentación ruminal, las bacterias fueron capaces de disminuir el efecto tóxico de los glucosinolatos de la canola (4.07 μmol g<sup>-1</sup>) en los tratamientos con 300 o 400 g kg<sup>-1</sup> MS de canola. En ese estudio, las poblaciones bacterianas predominantes en los borregos alimentados con dietas a base de heno de canola fueron celulolíticas (Du *et al.*, 2022).

#### Cuadro 6. Composición química de las dietas experimentales.

Ingredientes (g kg <sup>-1</sup> MS)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
MS	917.45	917.45	924.48	924.48	926.06	926.06
MO	969.89	969.89	954.2	954.2	968.88	968.88
EE	69.01	69.01	85.00	85.00	73.00	73.00
<sup>1</sup> EM (Mcal kg <sup>-1</sup> MS)	2.65	2.65	2.69	2.69	2.69	2.69
<sup>1</sup> ENg (Mcal kg <sup>-1</sup> MS)	0.95	0.95	1.00	1.00	0.96	0.96
PC	145.15	145.15	146.22	146.22	145.8	145.8
FDN	300.39	300.39	281.96	281.96	304.49	304.49
FDA	145.57	145.57	134.01	134.01	159.86	159.86
<sup>1</sup> Ca	1.07	1.07	1.23	1.23	1.31	1.31
<sup>1</sup> P	0.53	0.53	0.53	0.53	0.46	0.46
Ca:P	2.02:1	2.02:1	2.26:1	2.26:1	2.75:1	2.75:1
<sup>1</sup> Zn (ppm)	16.31	16.31	17.03	17.03	16.27	16.27
Costo, \$/kg MS	7.60	7.60	7.82	7.82	7.88	7.88

T1, heno de canola 0% + heno de avena 30% + 0 ppm Zn; T2, heno de canola 0% + heno de avena 30% + 80 ppm Zn; T3, heno de canola 15% + heno de avena 15% + 0 ppm Zn; T4, heno de canola 15% + heno de avena 15% + 80 ppm Zn; T5, heno de canola 30% + heno de avena 0% + 0 ppm Zn; T6, heno de canola 30% + heno de avena 0% + 80 ppm Zn. MS, materia seca; MO, materia orgánica; EE, extracto etéreo; EM, energía metabolizable; ENg, energía neta de ganancia; PC, proteína cruda; FDA, fibra detergente ácido; FDN, fibra detergente neutro; Ca, calcio; P, fósforo; Zn, zinc. <sup>1</sup>Valores estimados de tablas (NRC, 2007).

### 9.3 Parámetros de fermentación *in vitro*

La descripción de la cinética de fermentación *in vitro* es una de las características de mayor importancia en la evaluación de dietas para rumiantes. De este modo, estos parámetros permiten al nutriólogo animal ser un indicativo del potencial nutritivo de los alimentos. En esta investigación, la inclusión de ambas fuentes de heno (canola y avena) no afectó ( $P > 0.05$ ) los parámetros de fermentación *in vitro*; para la máxima asíntota ( $\beta_1$ ) de producción de gas los valores estuvieron entre 135-168 mL g<sup>-1</sup> MS, la  $Y_{max}/2$ , punto de inflexión de la curva ( $\beta_2$ ) oscilo entre 10.62-14.12 h, y la tasa fraccional de degradación ( $\beta_3$ ) (0.23-0.27 g MS h<sup>-1</sup>) (Cuadro 7). Zhao *et al.* (2020) evaluaron la composición nutricional y degradabilidad ruminal del heno de canola (Huayouza 62) en dos estados de crecimiento (floración temprana y formación temprana de brotes de vainas), incluidas en dietas TMR en cabras fistuladas de rumen y encontraron que, los parámetros de degradabilidad para las dietas con heno de canola cortada en floración temprana de la materia seca (MS) y fibra detergente neutro (FDN) fueron: fracción (*a*) rápidamente soluble (42.84 y 10.24 %), fracción (*b*) fracción lentamente degradable (26.22 y 62.42 %), tasa constante de degradación de *b* (*c*, 0.062 y 0.012 h<sup>-1</sup>), fracción potencialmente degradable (*a + b*) (69.06 y 72.66 %) y degradación efectiva (DE) (60.14 y 28.91 %), respectivamente. Mientras que, para dietas con heno de canola con formación temprana de brotes de vainas, los parámetros de degradabilidad de la MS y FDN fueron: fracción (*a*) rápidamente soluble (40.94 y 16.31 %), fracción (*b*) fracción lentamente degradable (25.16 y 25.35 %), tasa constante de degradación de *b* (*c*, 0.0328 y 0.0302 h<sup>-1</sup>), fracción potencialmente degradable (*a + b*) (66.10 y 41.66 %) y degradación efectiva (DE) (53.87 y 28.77 %), respectivamente. En fermentación *in vitro* la tasa ( $\beta_3$ ) de esta investigación es superior a la tasa constante de degradación ruminal de *b* (*c*, 0.062 - 0.0302 h<sup>-1</sup>) reportada

por Zhao *et al.* (2020) de dietas TMR, lo anterior implica que, en los métodos *in vivo* los factores que afectan la degradabilidad de los nutrientes son múltiples, entre ellos, tasa de digestión, tasa de pasaje y tamaño de partícula (Mendoza y Ricalde, 2015); en contraste con las condiciones controladas de los métodos *in vitro*, donde no ocurre absorción de nutrientes, ni evacuación de sustrato por movimientos ruminales.

**Cuadro 7. Ajuste del modelo de crecimiento Logístico a la producción de gas *in vitro* de los tratamientos.**

Tratamientos y parámetros	Estimador	EEM	Límites	
			Inferior	Superior
<b>T1</b>				
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	137.14	7.71	39.08	235.20
$\beta_2$ , h	12.01	1.73	9.97	34.01
$\beta_3$ , % h <sup>-1</sup>	0.26	0.02	0.003	0.51
<b>T2</b>				
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	135.69	2.84	119.52	191.86
$\beta_2$ , h	10.62	1.44	7.70	28.95
$\beta_3$ , % h <sup>-1</sup>	0.23	0.01	0.01	0.47
<b>T3</b>				
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	147.62	6.30	63.70	231.53
$\beta_2$ , h	14.12	0.01	14.12	14.13
$\beta_3$ , % h <sup>-1</sup>	0.27	0.01	0.27	0.28
<b>T4</b>				
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	142.80	19.71	107.75	393.35
$\beta_2$ , h	14.07	0.98	1.60	26.53
$\beta_3$ , % h <sup>-1</sup>	0.24	0.01	0.12	0.36
<b>T5</b>				
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	158.42	13.61	124.53	331.37
$\beta_2$ , h	12.92	1.59	7.32	33.16
$\beta_3$ , g MS h <sup>-1</sup>	0.23	0.01	0.04	0.43
<b>T6</b>				

$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	168.60	14.5	15.63	352.84
$\beta_2$ , h	11.89	1.40	5.94	29.72
$\beta_3$ , % h <sup>-1</sup>	0.23	0.01	0.05	0.42

T1, heno de canola 0% + heno de avena 30% + 0 ppm Zn; T2, heno de canola 0% + heno de avena 30% + 80 ppm Zn; T3, heno de canola 15% + heno de avena 15% + 0 ppm Zn; T4, heno de canola 15% + heno de avena 15% + 80 ppm Zn; T5, heno de canola 30% + heno de avena 0% + 0 ppm Zn; T6, heno de canola 30% + heno de avena 0% + 80 ppm Zn.  $\beta_1$  (Asíntota máxima de gas acumulado);  $\beta_2$  ( $Y_{max}/2$ , punto de inflexión de la curva);  $\beta_3$  (tasa fraccional de degradación). EEM, error estándar de la media.

En esta investigación, la ausencia de diferencias entre tratamientos respecto a  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , y  $\beta_3$  pudo deberse a la formulación isoproteica (145 g kg<sup>-1</sup> MS PC) e isoenergética (2.7 Mcal EM kg<sup>-1</sup> MS) de las dietas, así como al contenido similar de FDN (281.96-304.49 g kg<sup>-1</sup> MS) y FDA (134.01-159.86 g kg<sup>-1</sup> MS). Lo que permite postular que la inclusión de heno de canola en dietas para corderos no afectaría de manera negativa el crecimiento y rendimiento productivo de los corderos. Así mismo, en el ajuste de las curvas de producción de gas al modelo Logístico con similares valores de varianza  $S^2_{u1}$ ,  $S^2_{u2}$  y la covarianza ( $Cu_{12}$ ), indican ausencia de variabilidad entre sujetos aleatorios, e implica similar aporte de nutrientes destinados al crecimiento bacteriano en la degradación y fermentación *in vitro* (González-Muñoz *et al.*, 2022).

#### 9.4 Degradabilidad *in vitro* de la materia seca y fibra detergente neutro

La degradabilidad *in vitro* de la materia seca (Cuadro 8) fue similar ( $P>0.05$ ) entre tratamientos, además, este comportamiento no fue afectado por el nivel de Zn, tipo de Heno e interacción de Zn  $\times$  Heno. Para la degradabilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro hubo efecto ( $P<0.01$ ) de interacción nivel de Zn y tipo de Heno, lo que causó que los ensilados T3 y T5 tuvieran mayor rompimiento de los componentes de la pared celular, que el resto de los tratamientos. Lo anterior, puede resultar benéfico, dado que se libera mayor cantidad de energía para los microorganismos ruminales. La degradabilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN) en dietas TMR con la inclusión de ensilado de canola en niveles de 0, 15, 25 y 35% fue 649.4, 617.0, 576.4 y 553.9, respectivamente (Mejía *et al.*, 2021). Estos valores fueron superiores a lo encontrado en esta investigación. Dicha diferencia puede estar dada

por los niveles de sustitución del ensilado de canola y la etapa de crecimiento de la misma, la cual no fue reportada. Zhao *et al.* (2020) evaluaron la composición nutricional y degradabilidad ruminal del heno de canola (Huayouza 62) en dos estados de crecimiento, incluidas en dietas TMR en cabras fistuladas de rumen y encontraron que, la degradabilidad de la materia seca (DMS) y degradabilidad de la materia orgánica (DMO), degradabilidad de la fibra detergente neutro (DFDN) y fibra detergente ácido fueron (DFDA) a las 72 h de incubación fueron; 686.8, 674.5, 482.2 y 457.8 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente. Los valores anteriores de DMS fueron superiores a los reportados en esta investigación.

Mejía *et al.* (2021) evaluaron la inclusión (0, 15, 25 y 35%) de ensilado de canola (*Brassica napus*) en dietas TMR y encontraron que la degradabilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) fue: 841.9, 833.1, 828.7 y 828.4 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente. Estos valores son superiores a lo reportado por esta investigación. No obstante, fue afectado la producción de biomasa microbiana de la PC, lo que implicó cambios y detrimento en las poblaciones microbianas de rumen. Lo anterior probablemente por el contenido de glucosinolatos de la canola. En esta investigación, se observó efecto del nivel de Zn-met en la dieta, la explicación de este fenómeno es, dado que los niveles de Zn en la dieta (80 ppm) esta es una concentración que afecta las poblaciones de microorganismos ruminales. En ovinos los requerimientos de Zn en el animal estan dados por el peso corporal y ganancia diaria de los ovinos (20 a 51mg/kg; NRC, 2007). En este sentido, las fuentes de Zn orgánico en forma de Zn-AA (Zn ligado a aminoácidos) en teoría debería tener menor disponibilidad a la degradación en rumen debido a un fuerte ligando quelatado de la sal de Zn soluble a un polipéptido hidrolizado (AAFCO, 2000). Lo anterior, disminuye la solubilidad encontrada en los complejos Zn-AA de los grupos de Zn-AA (Ishaq *et al.*, 2018), lo que probablemente resultaría en una marcada disminución de la reserva de Zn soluble en el rumen en comparación con lo que sucede con ZnSO<sub>4</sub>. Lo que probablemente contribuye a la disminución de la diversidad y uniformidad de Shannon vs Zn SO<sub>4</sub> (Ishaq *et al.*, 2018). La suplementación de Zn-AA en carneros cambió las poblaciones microbianas, hay disminución de miembros de la familia Teniricutes (patógenos en rumen) que son correlacionados positivamente con consumo residual y promedio de grasa de leche (Jami *et al.*, 2024). La disminución de microorganismo ruminales, aumenta la riqueza de géneros benéficos asociados con la función digestiva como *Prevotella*, *Ruminococcus* (Ishaq *et al.*, 2018). Y es

esto, lo que permite un cambio benéfico en la productividad en animales con suplementación extra de Zinc en la dieta (Ishaq *et al.*, 2017). No obstante, en esta investigación se observa una disminución numérica en la digestibilidad de la fibra detergente neutro, sin ser realmente distinta. Por lo que, la utilización de esta dosis de Zn en dietas para corderos en crecimiento resulta segura para los microorganismos del rumen y el zinc que eventualmente escapa a tubo digestivo posterior, puede mejorar los parámetros productivos de corderos en engorda (Rodríguez-Maya *et al.*, 2019; Page *et al.*, 2017).

**Cuadro 8. Efecto de la inclusión Zn orgánico en dietas a base de heno de canola o avena para borregos en crecimiento.**

Variable, g kg <sup>-1</sup> MS	Tratamientos							P<		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	EEM	Zn	Heno	Zn × Heno
DIVMS	602.27 <sup>a</sup>	633.57 <sup>a</sup>	629.07 <sup>a</sup>	600.73 <sup>a</sup>	634.57 <sup>a</sup>	598.93 <sup>a</sup>	16.60	0.43	0.98	0.12
DIVFDN	392.62 <sup>ab</sup>	355.49 <sup>b</sup>	426.78 <sup>a</sup>	394.70 <sup>ab</sup>	403.96 <sup>a</sup>	387.57 <sup>ab</sup>	8.43	0.01	0.01	0.46

T1, heno de canola 0% + heno de avena 30% + 0 ppm Zn; T2, heno de canola 0% + heno de avena 30% + 80 ppm Zn; T3, heno de canola 15% + heno de avena 15% + 0 ppm Zn; T4, heno de canola 15% + heno de avena 15% + 80 ppm Zn; T5, heno de canola 30% + heno de avena 0% + 0 ppm Zn; T6, heno de canola 30% + heno de avena 0% + 80 ppm Zn. EEM, error estándar de la media. P<, Probabilidad del efecto <0.05, concentración de Zn, tipo de heno (canola o avena), e interacción de los factores (Zn × Heno). DIVMS, degradabilidad *in vitro* de la materia seca; DIVFDN, degradabilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro.

## 10. CONCLUSIONES

No se observaron diferencias en la composición química entre los distintos tratamientos a base de heno de canola o heno de avena más la inclusión de zinc orgánico en las dietas para corderos.

Los parámetros de ajuste de las curvas de producción de gas mostraron similar comportamiento para asíntota máxima de producción de gas, punto de inflexión de la curva y tasa de degradación fraccional, no obstante, los límites son distintos en cada parámetro.

La degradabilidad *in vitro* de la materia seca fue similar entre tratamientos, mientras que, la degradabilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro fue mayor para los tratamientos a base de heno de canola mas heno de avena con 0 ppm de Zn y heno de canola mas 0 ppm de Zn.

## 11. LITERATURA CITADA

- Aliarabi H. 2005. Technology refinement for the preparation of chelated zinc and effect of its supplementation on growth and vitamin a utilization in cross bred calves. Doctoral dissertation, ICAR-NDRI, Karnal.
- AOAC., 1997. Official Methods of Analysis (16th ed), Vol. 1. Arlington, Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Argenta, J., Pacheco, M.T., de Araujo Mariath, J.E. Federizzi, C.L. 2022. Morphological, anatomical, and chemical characteristics associated with lodging resistance in Avena sativa. Euphytica 218, 22. <https://doi.org/10.1007/s10681-022-02971-8>
- Beam, T.M., Jenkins, T.C., Moate, P.J., Kohn, R.A., Palmquist, D.L. 2000. Effects of amount and source of fat on the rates of lipolysis and biohydrogenation of fatty acids in ruminal contents. J. Dairy Sci. 83:2564-2573.
- Bell, J.M. 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: a review. Can J Anim Sci, 679-697
- Brzóska M.M., Moniuszko-Jakoniuk J. 2001. Interactions between cadmium and zinc in the organism. Food and Chemical Toxicology 39; 967–980.
- Buccioni, A., Decandia, M., Minieri, S., Molle, G., Cabiddu, A. 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. Anim. Feed Sci. Technol. 174:1-25.
- Du, E., Guo, W., Zhao, N., Chen, F., Fan, Q., Zhang, W., Huang, S., Zhou, G., Fu, T., Wei, J. 2022. Effects of diets with various levels of forage rape (*Brassica napus*) on growth performance, carcass traits, meat quality and rumen microbiota of Hu lambs. Journal of the Science of Food and Agriculture, 102(3), 1281-1291.
- Canola Council of Canada. 2024. Guía de alimentación de la pasta de canola. Consultado: 23 de octubre de 2023. Disponible en: [https://www.canolacouncil.org/canolamazing/wordpress/wp-content/uploads/2016/10/canola\\_meal\\_feeding\\_guide\\_2015\\_spanish.pdf](https://www.canolacouncil.org/canolamazing/wordpress/wp-content/uploads/2016/10/canola_meal_feeding_guide_2015_spanish.pdf)

- Chikwanha, O. C., Vahmani, P., Muchenje, V., Dugan, M. E., Mapiye, C. 2018. Nutritional enhancement of sheep meat fatty acid profile for human health and wellbeing. *Food Research International*, 104, 25-38.
- De Lucas, T.J., Arbiza, A.S. 2006. Situación y perspectivas, la producción de carne ovina en México. *Bayvet*, 21: 22-28.
- Drackley, J.K., Overton, T.R., Ortiz-Gonzalez, G., Beaulieu, A.D., Barbano, D.M., Lynch, J.M., Perkins, E.G. 2007. Responses to increasing amounts of high-oleic sunflower fatty acids infused into the abomasum of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90, 5165–5175.
- Duncan, A.J. 1991. Glucosinolates. In: Toxic substances in crop plants, eds DMello J P F, Duffus C M & Duffus J H. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp 126-147.
- Elgendy, R., Palazzo, F., Castellani, F., Giantin, M., Grotta, L., Cerretani, L., Martino, G. 2017. Perfiles de transcriptomas y análisis funcional de ovejas alimentadas con una dieta rica en zinc: un enfoque nutrigenómico. *Ciencia y tecnología de la alimentación animal*. 234, 195-204.
- FEDNA. 2019. Tablas FEDNA de valor nutritivo de Forrajes y Subproductos fibrosos húmedos. S. Calsamiglia, A. Ferret, A. Bach. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, 93 pp.
- Ferlay, A. y Doreau, M. 1992. Influence of method of administration of rapeseed oil in dairy cows. 1. Digestion of non lipid components. *J. Dairy Sci.* 75: 3020–3027.
- Glasser, F., Ferlay, A., Chilliard, Y. 2008. Oilseed lipid supplements and fatty acid composition of cow milk: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science* 91, 4687–4703.
- Griffiths, D. W., Birch, A. N. E., & Macfarlane-Smith, W. H. (1994). Induced changes in the indole glucosinolate content of oilseed and forage rape (*Brassica napus*) plants in response to either turnip root fly (*Delia floralis*) larval feeding or artificial root damage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 65(2), 171-178.

- Hepp K.C. 2011. Cultivo y utilización de brassicas forrajeras en la Patagonia Húmeda (Aysén) [en línea]. Coyhaique, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 228. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7445> (Consultado: 6 de septiembre de 2024).
- Housseinpour, R., Latibari, A J., Farnood, R., Fatehi, P., and Sepiddehdam, S.J. 2010. Fiber morphology and chemical composition of rapeseed (*Brassica napus*) stems. IAWA journal, 31(4), 457-464.
- Huard, S., Petit, H.V., Seoane, J.R. and Rioux, R. 1997. Effects of mechanical treatment of whole canola seeds on performance, diet digestibility and rumen parameters of lambs fed grass silage. Canadian Journal of Animal Science. DOI: 10.4141/A97-118.
- Hussein, H. S., Merchen, N. R. Fahey, G. C., Jr. 1995. Effects of forage level and canola seed supplementation on site and extent of digestion of organic matter, carbohydrates, and energy by steers. J. Anim. Sci. 73: 2458–2468.
- Ianni, A., Iannaccone, M., Martino, C., Innosa, D., Grotta, L., Bennato, F., Martino, G. 2019. Zinc supplementation of dairy cows: Effects on chemical composition, nutritional quality and volatile profile of Giuncata cheese. International Dairy Journal, 94, 65-71.
- INEGI. 2023. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado: 1 de octubre de 2023. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx>.
- Ishaq, S. L., Page, C. M., Yeoman, C. J., Murphy, T. W., Van Emon, M. L., Stewart, W. C. 2019. Zinc AA supplementation alters yearling ram rumen bacterial communities but zinc sulfate supplementation does not. Journal of Animal Science, 97(2), 687-697.
- Ishaq, S. L., O. AlZahal, N. Walker, and B. McBride. 2017. An investigation into rumen fungal and protozoal diversity in three rumen fractions, during high-fiber or grain-induced sub-acute ruminal acidosis conditions, with or without active dry yeast supplementation. Front. Microbiol. 8:1943. doi:10.3389/fmicb.2017.01943
- Jenkins, T.C., Bridges, W.C. 2007. Protection of fatty acids against ruminal biohydrogenation in cattle. European Journal of Lipid Science and Technology 109, 778–789.

- Jenkins, T.C., Wallace, R.J., Moate, P.J., Mosley, E.E. 2008. BOARD-INVITED REVIEW: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *Journal of Animal Science* 86, 397–412.
- Kuntal, R. S., Gupta, R., Rajendran, D., Patil, V. 2022. *Livestock Ration Formulation for Dairy Cattle and Buffalo*. CRC Press. 139 p.
- Lampe, J.W. y Peterson, S. 2002. Brassica, biotransformation and cancer risk: genetic polymorphisms alter the preventive effects of cruciferous vegetables. *Journal of Nutrition* 132, 2291–2994.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D. and Schabenberger, O., 2006. *SAS® for mixed models*, 2nd ed. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Lourenc,o, M., Ramos-Morales, E., Wallace, R.J. 2010. The role of microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. *Animal* 4, 1008–1023.
- Malcolm-Callis, K.J.; Duff, J.C.; Gunter, S.A.; Kegley, E.B.; Vermeire, D.A. Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 2000, 78, 2801-2808.
- Majewska, MP, Pająk, JJ, Skomiał, J. Kowalik, B. 2016. Effect of different forms of sunflower products in lamb diets and storage time on meat quality. *Science and technology of animal feeding*, 222, 227-235.
- Maret W., Li Y. 2009. Coordination Dynamics of Zinc in Proteins. *Chemical Reviews*, 2009, 109 (10), pp: 4682–4707.
- Maret, W. 2006. Zinc coordination environments in proteins as redox sensors and signal transducers. *Antioxidants & Redox Signaling*. 8 (9-10): 1419-1441.
- McDonald, P., Edward, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G. 2007. *Animal nutrition*, 7th ed. Pearson, London.
- Uribe, L.M., Vara, I.D., Ruipérez, F.H., Amor, A.R., Almaráz, E.M. 2021. Fatty acid profile and *in vitro* rumen fermentation characteristics of maize silage augmented with canola silage. *South African Journal of Animal Science*, 51(2), 212-220.

- Mendoza, G.D., Ricalde, V.R. 2017. Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano. Serie Textos – CBS. Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F. pp. 278.
- Menke K.H, y Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic fed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. Dev. 28:7-12.
- Mills CF. 1989. Zinc in human biology. Springer, New York.
- Mir, S.H., Malik, T.A., Pal, R.P. 2018. Necessitation of zinc supplementation to ruminants. Indian Farmer 5:142–146.
- Mondragón, J., Domínguez-Vara, I. A., Rebollar-Rebollar, S., Bórquez-Gastelum, J. L., Hernández-Martínez, J. 2012. Margins of sheep meat marketing in Capulhuac, State of Mexico. Trop. and Subtrop. Agroecosys.14:331-335.
- NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine). 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle, 8th Revised ed. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nguyen, D. V., Malau-Aduli, B. S., Cavalieri, J., Nichols, P. D., Malau-Aduli, A. E. 2018. Supplementation with plant-derived oils rich in omega-3 polyunsaturated fatty acids for lamb production. Veterinary and Animal Science, 6, 29-40.
- Niderkorn V, Martin C, Rochette Y, Julien S, Baumont R. 2015. Associative effects between orchardgrass and red clover silages on voluntary intake and digestion in sheep: Evidence of a synergy on digestible dry matter intake. J Anim Sci.; 93(10):4967–4976. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9178>
- NRC, 2007. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. Academy of Sciences National Research Council, Washington, D.C. 287 p.
- NRC. 2013. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Washington, DC: The National Academies Press. 384 p. <https://doi.org/10.17226/11654>

- Page, C. P., I. McGregor, M. L. Van Emon, T. W. Murphy, C. K. Larson, J. G. Berardinelli, and W. C. Stewart. 2017. Effects of zinc source and dietary concentration on zinc status, growth performance, and wool characteristics in developing rams. In: Western Section of the American Society of Animal Science. At Fargo, North Dakota; p. 68. [https://www.asas.org/docs/default-source/western-section/asasws\\_western\\_book\\_060217.pdf?sfvrsn=e72946d1\\_0](https://www.asas.org/docs/default-source/western-section/asasws_western_book_060217.pdf?sfvrsn=e72946d1_0)
- Palmquist, D. L. 1995. Digestibility of cotton lint fiber and whole oilseeds by ruminal microorganisms. *Anim. Feed Sci. Technol.* 56:231.
- Palmquist, D.L., Lock, A.L., Shingfield, K.J., Bauman, D.E. 2005. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. In *Advances in food and nutrition research* (ed. S Taylor), vol. 50. Elsevier Academic Press, US. pp. 179–217.
- Prakash, D., & Sharma, G. (2014). *Phytochemicals of nutraceutical importance*. CABI.
- Quiñones, J., Maggiolino, A., Bravo, S., Muñoz, E., Lorenzo, JM, Cancino, D., ... y De Palo, P. 2019. Efecto del aceite de canola sobre la calidad de la carne y el perfil de ácidos grasos de corderos criollos araucanos durante el período de engorde. *Ciencia*, 248, 20-26.
- Reta-Sánchez, D.G., Serrato-Corona, J.S., Quiroga-Garza, H.M., Figueroa-Viramontes, U., Gaytán-Mascorro, A., Cueto-Wong, J.A. 2016. Respuesta de canola para forraje a la densidad de población. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 253-258
- Rodríguez-Gaxiola, M. Á., Domínguez Vara, I. A., Barajas Cruz, R., & Mariezcurrena Berasain, M. A. 2015. Efecto de la complementación dietaria del clorhidrato de zilpaterol y su interacción con zinc y cromo orgánicos en la respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de bovinos y ovinos en engorda intensiva. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. 133 p.
- 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., and Rodríguez-Carpena, J.G. 2018. Growth performance parameters, carcass traits and meat quality of lambs supplemented with zinc methionine or/and zinc oxide in

feedlot system. *Canadian Journal of Animal Science*. <https://doi.org/10.1139/CJAS-2018-0153>.

SAS Institute Inc. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.; 2004.

Schofield, P. and Pell, A.N., 1995. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *Journal of Animal Science*, 73, pp. 3455-3463. <https://doi.org/10.2527/1995.73113455x>

Seguel, G., Keim, J. P., Vargas-Bello-Pérez, E., Geldsetzer-Mendoza, C., Ibáñez, R. A., & Alvarado-Gilis, C. 2020. Effect of forage brassicas in dairy cow diets on the fatty acid profile and sensory characteristics of Chanco and Ricotta cheeses. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 228-241.

Shingfield, K., Bonnet, M., Scollan, N. 2012. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods.

Shingfield, K.J., Bernard, L., Leroux, C., Chilliard, Y. 2010. Role of trans fatty acids in the nutritional regulation of mammary lipogenesis in ruminants. *Animal* 4, 1140–1166.

Shingfield, K.J., Bonnet, M., Scollan, N.D. 2013. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. *Animal*, 7(s1), 132-162.

SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado: 19 de octubre de 2023. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap>.

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. *J. Anim. Sci.* 80: 2747-2752.

Swanson, K. C. 2019. Small intestinal anatomy, physiology, and digestion in ruminants.

Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B. and 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, pp. 185-197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)

- Underwood, E.J., y N.F. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3rd ed., Ed. CABI, Midlothian, UK.
- Vallejo, F., Tomás-Barberán, F.A. García-Viguera, C. 2002. Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82, 1293–1297.
- Van Le, H., Nguyen, D. V., Nguyen, Q. V., Malau-Aduli, B. S., Nichols, P. D., Malau-Aduli, A. E. O. 2019. Fatty acid profiles of muscle, liver, heart and kidney of Australian prime lambs fed different polyunsaturated fatty acids enriched pellets in a feedlot system. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, pp. 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vellini, B. L., Prados, L. F., Monção, F. P., Bombero, A. K., Resende, F. D., y Siqueira, G. R. 2020. El complejo de zinc y aminoácidos en asociación con cromo metionina mejora la eficiencia alimenticia del ganado Nellore terminado en el corral de engorde. *Ciencia y tecnología de la alimentación animal*. 262:1-12.
- 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.
- Wright, C.L., Spears, J.W. 2004. Effect of zinc source and dietary level on zinc metabolism in Holstein Calves. *J Dairy Sci* 87:1085–1091. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73254-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73254-3)
- Zhao, N., Yang, X., Wei, J., Guo, W., Chen, F., Zhou, G. Fu, T. 2020. Nutritional composition of forage rape and its rumen degradation characteristics in goats. *Acta Pratacul Sin* 29:50–57.
- Zuñiga, T.L.C. 2020. Composición química de los principales ingredientes utilizados en la formulación de raciones en la engorda de bovinos en el Valle de Mexicali. Tesis de

licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. p. 52.



substitution of HC by HA, plus Zn-Met does not affect the fermentation parameters and the degradability of DM.

**Keywords:** Zn-methionine, canola hay, oat hay, fattening lambs.

**INTRODUCCIÓN.** En México el inventario ovino es de 8.9 millones de cabezas, poco más de 50 mil UPP, con una producción de más de 62,900 ton. de carne (SIAP, 2024). La alimentación de corderos necesita incluir fuentes de fibra y proteína de buena calidad. La planta entera de canola ensilada, contiene (%) 21.5 de MS, 12.8 PC, 4.35 EE, 50 FDN, 43.4 FDA, 5.71 LAD y 2.14 Mcal de EM/kg MS; la degradabilidad del N es de 70% (FEDNA, 2024). La inclusión de semilla de canola, rolada, entera y molida, en dietas con concentrado comercial y ensilado de maíz en corderos, afecta la ganancia de peso y digestibilidad de la MS; no obstante, el pH ruminal y las concentraciones molares de AGVs no son afectadas por los tratamientos (Huard *et al.*, 1997). Sin embargo, el HC se ha estudiado poco en dietas para corderos en engorda. En este sentido, el metabolismo de los intermedios de la biohidrogenación puede ser modulado por fuentes naturales de ácidos orgánicos y lípidos, postulándose que incluir HC y Zn-Met propiciará el depósito de grasa no saturada en la canal y carne de corderos en engorda.

**MATERIALES Y MÉTODOS.** El trabajo se desarrolló en la FMVZ de la UAEMex. Se determinó (AOAC, 1997) MS, MO y PC; FDA y FDN según Van Soest *et al.* (1991) (Cuadro 1). Se formularon seis dietas para corderos en crecimiento de 25 kg de PV, edad (5 meses) y ganancia diaria de peso estimada de 250 g d<sup>-1</sup> con el programa Aries 2007<sup>o</sup> (Cuadro 2).

**Evaluación *in vitro* de la fermentación y degradabilidad de la materia seca.** La degradabilidad *in vitro* y cinética de producción de gas de las dietas (tratamientos) tuvo seis repeticiones, dos blancos y tres estándares en dos series. El fluido ruminal se obtuvo a las 08:00 h, se colocó en baño de agua a 39 °C con flujo continuo de CO<sub>2</sub>. Se utilizaron viales (125 mL) con 1000 mg de muestra; a cada vial se le agregó: solución de elementos principales (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>), solución de elementos traza (CaCl<sub>2</sub>, MnCl<sub>2</sub>, CoCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>2</sub>), solución amortiguadora (NaHCO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>) HCO<sub>3</sub>), solución reductora (NaOH, Sulfuro de Na) y resazurina (Menke y Staingass, 1988). Se adicionó 10 mL de líquido ruminal con CO<sub>2</sub> y se incubó a 39 °C. Las lecturas de presión de gas se midieron las primeras 8 h y después cada 4 h hasta 72 h. Al final se determinó la degradabilidad *in vitro* de MS por diferencia de peso.

**Cuadro 1. Composición química de ingredientes en las dietas experimentales (g kg<sup>-1</sup> MS).**

Ingredientes	MS	MO	Cen	PC	FDN	FDA	EE	Cel
Heno de canola	966.16	871.08	128.92	164.46	450.68	321.34	50.00	129.34
Heno de avena	929.20	936.48	63.52	64.76	514.89	277.93	24.00	236.96
Canola molida	948.56	934.62	65.38	477.01	286.14	171.17	74.00	114.98
Sorgo molido	916.22	978.55	21.45	71.72	222.74	46.97	33.00	175.77
Pasta de soya	934.84	893.05	106.95	472.46	137.25	38.38	16.70	98.86
Salvado de trigo	919.87	946.49	53.51	174.88	436.63	112.76	41.00	323.87
Maiz molido	899.71	974.87	25.13	92.15	197.98	0.00	43.00	197.98

MS, materia seca; MO, materia orgánica; Cen, cenizas; PC, proteína cruda; DFN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; EE, extracto etéreo; Cel, celulosa.

**Análisis estadístico.** El diseño fue completo al azar con arreglo factorial de tratamientos, HC (0, 15 y 30%), HA (0, 15 y 30%), Zn-Met (0 y 80 ppm). El ajuste de la curva de cinética de producción de gas fue con (PROC NLMIXED; SAS, 2004) para el modelo Logístico Exponencial:  $y_{ij} = \beta_1 + u_{i1} / 1 + (\beta_2 + u_{i2}) e^{-\beta_3 t + e_i}$ , donde:  $y_{ij}$  = observación del  $j$ th vial, sujeto al  $i$ th

tratamiento;  $\beta_1$ =asíntota máxima de gas acumulado a 72 h, efectos aleatorios  $u_1$ ;  $\beta_2$ =punto de inflexión de curva (h) [ $Y_{max}/2$ ], más efectos aleatorios  $u_2$ ; y  $\beta_3$ =tasa fraccional de degradación.

**RESULTADOS.** La inclusión de ambas fuentes de forraje no afectó ( $P>0.05$ ) los parámetros de fermentación *in vitro*. Para la máxima asíntota ( $\beta_1$ ) de producción de gas los valores estuvieron entre 135-168 mL  $g^{-1}$  MS,  $Y_{max}/2$ , punto de inflexión de la curva ( $\beta_2$ ) oscilo entre 10.62-14.12 h, tasa fraccional de degradación ( $\beta_3$ ) (0.23-0.27  $g$  MS  $h^{-1}$ ) y degradabilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) estuvo entre 598.92-633.55  $g$   $kg^{-1}$  MS (Cuadro 3).

**Cuadro 2. Composición y aporte nutrimental de las dietas experimentales ( $g$   $kg^{-1}$  MS).**

Ingredientes	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Heno de canola	0.00	0.00	150.00	150.00	300.00	300.00
Heno de avena	300.00	300.00	150.00	150.00	0.00	0.00
Maíz molido	266.25	266.25	328.33	328.33	317.08	317.08
Pasta de soya	187.69	187.69	143.30	143.30	105.11	105.11
Rastrojo de maíz	118.21	118.21	77.13	77.13	123.40	123.40
Salvado de trigo	34.71	34.71	46.28	46.28	53.99	53.99
Aceite vegetal	53.99	53.99	53.99	53.99	53.99	53.99
Bicarbonato de sodio	7.71	7.71	9.26	9.26	7.71	7.71
Carbonato de calcio	7.71	7.71	9.26	9.26	7.71	7.71
Caliza	7.71	7.71	9.26	9.26	7.71	7.71
Premezcla vitaminas-minerales	23.14	23.14	23.14	23.14	23.14	23.14
<b>Composición química (<math>g</math> <math>kg^{-1}</math> MS)</b>						
Materia seca	917.45	917.45	924.48	924.48	926.06	926.06
Energía Metabolizable (Mcal)	2.65	2.65	2.69	2.69	2.69	2.69
Proteína cruda	145.00	145.00	145.00	145.00	145.00	145.00
Fibra detergente neutro	300.39	300.39	281.96	281.96	304.49	304.49
Fibra detergente ácido	145.57	145.57	134.01	134.01	159.86	159.86
Ca	1.07	1.07	1.23	1.23	1.31	1.31
P	0.53	0.53	0.53	0.53	0.46	0.46
Zn (ppm)	16.31	16.31	17.03	17.03	16.27	16.27

T1, 0  $g$   $kg^{-1}$  MS HC-300  $g$   $kg^{-1}$  MS HA-0 ppm Zn-Met. T2, 0  $g$   $kg^{-1}$  MS HC-300  $g$   $kg^{-1}$  MS HA-80 ppm Zn-Met. T3, 150  $g$   $kg^{-1}$  MS HC-150  $g$   $kg^{-1}$  MS HA-0 ppm Zn-Met. T4, 150  $g$   $kg^{-1}$  MS HC-150  $g$   $kg^{-1}$  MS HA-80 ppm Zn-Met. T5, 300  $g$   $kg^{-1}$  MS HC-0  $g$   $kg^{-1}$  MS HA-0 ppm Zn-Met. T6, 300  $g$   $kg^{-1}$  MS HC-0  $g$   $kg^{-1}$  MS HA-80 ppm Zn-Met.

**DISCUSIÓN.** La ausencia de diferencias entre tratamientos respecto a  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , y  $\beta_3$  pudo deberse a la formulación isoproteica (145  $g$   $kg^{-1}$  MS PC) e isoenergética (2.7 Mcal EM  $kg^{-1}$  MS) de las dietas, así como al contenido similar de FDN (281.96-304.49  $g$   $kg^{-1}$  MS) y FDA (134.01-159.86  $g$   $kg^{-1}$  MS). Lo que permite postular que la inclusión de heno de canola en dietas para corderos en engorda muestra similar fermentación y degradabilidad para ovinos en fases de crecimiento y finalización. Asimismo, en el ajuste de las curvas de producción de gas al modelo logístico con similares valores de varianza  $S^2_{u1}$ ,  $S^2_{u2}$  y la covarianza ( $C_{u12}$ ), indican ausencia de variabilidad entre sujetos aleatorios, e implica similar aporte de nutrientes destinados al crecimiento bacteriano en la degradación y fermentación *in vitro*.

**CONCLUSIÓN.** No se observaron diferencias entre los tratamientos a base de forrajes henificados de canola y avena, más el zinc orgánico, en dietas para ovinos en engorda.

AGRADECIMIENTOS. A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por las facilidades para realizar el proyecto, a la UAEM, por financiar el proyecto 7007-2024CIB.

**Cuadro 3. Ajuste del modelo logístico a la producción de gas *in vitro* de los tratamientos.**

Tratamientos y parámetros	Estimador	EEM <sup>a</sup>	Límites		DIVMS, g kg <sup>-1</sup> MS
			Inferior	Superior	
<b>T1</b>					
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS <sup>b</sup>	137.14	7.71	39.08	235.2	602.25
$\beta_2$ , h	12.01	1.73	9.97	34.01	
$\beta_3$ , g MS h <sup>-1</sup>	0.26	0.02	0.003	0.51	
<b>T2</b>					
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	135.69	2.84	119.52	191.86	633.55
$\beta_2$ , h	10.62	1.44	7.7	28.95	
$\beta_3$ , g MS h <sup>-1</sup>	0.23	0.01	0.01	0.47	
<b>T3</b>					
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	147.62	6.3	63.7	231.53	629.05
$\beta_2$ , h	14.12	0.01	14.12	14.13	
$\beta_3$ , g MS h <sup>-1</sup>	0.27	0.01	0.27	0.28	
<b>T4</b>					
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	142.8	19.71	107.75	393.35	600.72
$\beta_2$ , h	14.07	0.98	1.6	26.53	
$\beta_3$ , g MS h <sup>-1</sup>	0.24	0.01	0.12	0.36	
<b>T5</b>					
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	158.42	13.61	124.53	331.37	598.59
$\beta_2$ , h	12.92	1.59	7.32	33.16	
$\beta_3$ , g MS h <sup>-1</sup>	0.23	0.01	0.04	0.43	
<b>T6</b>					
$\beta_1$ , mL g <sup>-1</sup> MS	168.6	14.5	15.63	352.84	598.92
$\beta_2$ , h	11.89	1.4	5.94	29.72	
$\beta_3$ , g MS h <sup>-1</sup>	0.23	0.01	0.05	0.42	

<sup>a</sup>EEM, error estándar medio. DIVMS, degradabilidad *in vitro* de MS. <sup>b</sup> $\beta_1$  (Asíntota máxima de gas acumulado);  $\beta_2$  (Ymax/2, punto de inflexión de la curva);  $\beta_3$  (tasa fraccional de degradación).

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC, 1997. Official Methods of Analysis (16th ed). Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA. Vol. 1. 771 p.
- FEDNA. 2024. Tablas FEDNA de valor nutritivo de Forrajes y Subproductos fibrosos húmedos. S. Calsamiglia, A. Ferret, A. Bach. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, 93 pp.
- Huard S., Petit H.V., Seoane J.R. and Rioux R. 1997. Effects of mechanical treatment of whole canola seeds on performance, diet digestibility and rumen parameters of lambs fed grass silage. Canadian Journal of Animal Science. DOI: 10.4141/A97-118.
- Menke K.H. y Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic fed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. Dev. 28:7-12.
- SAS Institute Inc. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.; 2004.
- SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado: 07 agosto 2024.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3583-3597.



Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinocultura, A.C.  
 Universidad Autónoma de Guerrero  
 Otorgan el presente



# RECONOCIMIENTO

A: D. Valencia-Pérez, D. Trujillo-Gutiérrez, I.A. Domínguez-Vara\*, E. Morales-Almaraz, J. Sánchez-Torres, J.L. Bórquez-Gastelum, L.A. Mejía Uribe, P. Cruz-Velázquez, R. Quintero-Juárez, y M. Guerrero-Bárcena



Como **PONENTE\*** con el trabajo titulado:

**“Efecto de zinc-metionina en raciones de corderos en engorda intensiva con forrajes henificados de canola y avena sobre la fermentación *in vitro*”**

Los días 23, 24 y 25 de octubre de 2024 en Acapulco, Guerrero, México.

  
 MPA. Rosa Berta Angulo Mejorada  
 Presidente AMTEO

  
 MC. Gustavo Erick Olivar Valladolid  
 Director ESMVZ3-UAGro

