



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS ZOOTÉCNICAS Y
SALUD ANIMAL**

TESIS

**RENDIMIENTO PRODUCTIVO DE CORDEROS EN
ENGORDA ALIMENTADOS CON DIFERENTES
NIVELES DE INCLUSIÓN DE RESIDUO DE NUEZ**

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias Zootécnicas y Salud Animal

PRESENTA

MVZ. Samuel Cerón Cerón

Director

Dr. Jesús Armando Salinas Martínez

Codirector

Dr. Oscar Enrique del Razo Rodríguez

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, enero 2026



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS ZOOTÉCNICAS Y
SALUD ANIMAL**

TESIS

**RENDIMIENTO PRODUCTIVO DE CORDEROS EN
ENGORDA ALIMENTADOS CON DIFERENTES
NIVELES DE INCLUSIÓN DE RESIDUO DE NUEZ**

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias Zootécnicas y Salud Animal

PRESENTA

MVZ. Samuel Cerón Cerón

Director

Dr. Jesús Armando Salinas Martínez

Codirector

Dr. Oscar Enrique del Razo Rodríguez

Comité tutorial

Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández

Dr. Rodolfo Vieyra Alberto

Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, enero 2026



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias Zootécnicas y Salud Animal

Master's in Zootechnics and Animal Health

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

El Comité Tutorial de la TESIS del programa educativo de posgrado titulado **"Rendimiento productivo de corderos en engorda alimentados con diferentes niveles de inclusión de residuo de nuez"**, realizado por la (el) sustentante, **Samuel Cerón Cerón** con número de cuenta **308231** perteneciente al programa de **Maestría en Ciencias Zootécnicas y Salud Animal**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el artículo 110 del reglamento de estudios de posgrado, tiene bien a extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

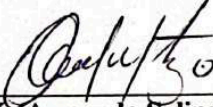
Por lo que la sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.


Atentamente


"Amor, Orden y Progreso"

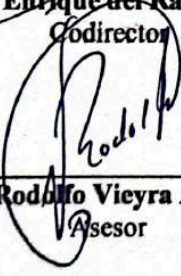
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, a 15 de Enero de 2026

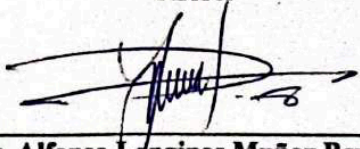
El Comité Tutorial


Dr. Jesús Armando Salinas Martínez
Director


Dr. Oscar Enrique del Razo Rodríguez
Codirector


Dr. Juan Carlos Angeles Hernández
Asesor


Dr. Rodolfo Vieyra Alberto
Asesor


Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez
Asesor

"Amor, Orden y Progreso"



2025



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775.

Teléfono: 7717172001 Ext. 42104

meczysa@uah.edu.mx

uah.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para el desarrollo de esta maestría.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por ser mi casa de estudios, por sentar las bases en mi desarrollo primero como profesional en la Medicina Veterinaria y Zootecnia y ahora como Maestro en Ciencias Zootécnicas y Salud Animal y al Instituto de Ciencias Agropecuarias por brindar el apoyo necesario para el desarrollo de este proyecto de investigación.

A los profesores del Programa de Posgrado Maestría en Ciencias Zootécnicas y Salud Animal por compartir su conocimiento y contribuir a la realización de esta investigación.

A mi director de tesis, Dr. Jesús Armando Salinas Martínez, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso, sus conocimientos y experiencia han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

A los integrantes de mi comité tutorial de tesis, Dr. Oscar Enrique Del Razo Rodríguez, Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández, Dr. Rodolfo Vieyra Alberto y Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez, por contribuir a mi formación y desarrollo en esta investigación, por dedicar tiempo a enriquecer aspectos más allá del ámbito académico.

A mi familia, que siempre ha estado a mi lado, brindándome apoyo incondicional y motivándome en cada etapa de mi vida académica, gracias por su amor, comprensión y por creer en mí, incluso en los momentos más difíciles.

A mis amigos y compañeros de estudio, quienes compartieron conmigo este camino, aportando sus ideas, tiempo y compañía, especialmente a Eduardo, Marco Antonio, José Eduardo, Enriqueta, Daniela, José Luis, Laura y Miriam, por su constante ánimo y apoyo moral para poder llevar a cabo este proyecto de investigación.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a las personas y organizaciones que formaron parte del desarrollo de esta investigación, con datos, recursos o asesoría técnica, sin su ayuda, este proyecto no hubiera sido posible.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres y hermanas quienes con su amor, sacrificio y apoyo incondicional me han guiado en cada paso de mi vida. Su ejemplo de esfuerzo y perseverancia ha sido mi mayor inspiración.

A mis amigos y colegas quienes me han brindado su apoyo y amistad incondicional durante estos años de estudio.

Y, finalmente, dedico este trabajo a todos aquellos que persiguen el conocimiento y el crecimiento personal, con la esperanza de que mi esfuerzo contribuya de alguna manera al avance en nuestra área de estudio.

“La grandeza de una nación y su progreso moral pueden ser juzgados por la forma en que trata a sus animales”

Mahatma Gandhi

RESUMEN

El objetivo fue evaluar los efectos de diferentes niveles de inclusión de residuo de nuez en dietas de ovinos de engorda sobre los patrones de fermentación ruminal *in vitro* y rendimiento productivo de corderos en engorda. Se inicio con la caracterización, análisis químico proximal y patrones de fermentación ruminal *in vitro* del residuo de nuez y dietas de corderos en engorda, en el laboratorio de Investigación de Nutrición Animal del Instituto de Ciencias Agropecuarias y el rendimiento productivo *in vivo* de corderos en crecimiento, se realizó en el Módulo de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina (MEIEPO) en el Rancho Universitario, ambos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ubicados en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México. La evaluación de los patrones de fermentación *in vitro* se realizó con dietas isoenergéticas e isoproteicas en cuatro tratamientos: Control, 4N, 8N y 12N. Para conocer el rendimiento productivo se utilizaron 28 corderos, con un PV de 24.9 ± 0.99 kg, con una edad de 3 meses, del tipo racial Hampshire asignados aleatoriamente en uno de los cuatro tratamientos. Diariamente se registró el consumo de alimento por diferencia entre oferta y rechazo; y, una vez a la semana se registró el peso vivo. El residuo de nuez tiene 24.5 % de extracto etéreo, 62.5 % de FDN, 58.2 % de FDA y 18.6 % de lignina además presentó valores bajos de degradabilidad de materia seca (7.8 %) y de producción de gas (50 ml). En las dietas experimentales, el tratamiento 12N mostro diferencias significativas ($p < 0.05$) con la menor digestibilidad *in vitro* respecto a los otros tres tratamientos; sin embargo, el volumen máximo de producción de gas (V), el pH, la tasa de producción de gas (S) y el tiempo de retardo (L) no mostraron diferencias ($p > 0.05$). En cuanto al rendimiento productivo, se observaron diferencias ($p < 0.05$) en las variables de CMS y GDP.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effects of different levels of walnut residue inclusion in fattening sheep diets on *in vitro* ruminal fermentation patterns and the productive performance of fattening lambs. The study began with the characterization, proximate chemical analysis, and *in vitro* ruminal fermentation patterns of walnut residue and fattening lamb diets at the Animal Nutrition Research Laboratory of the Institute of Agricultural Sciences. The *in vivo* productive performance of growing lambs was assessed at the Teaching, Research, and Extension Module in Sheep Production (MEIEPO) at the University Ranch, both belonging to the Autonomous University of the State of Hidalgo, located in Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, Mexico. The evaluation of *in vitro* fermentation patterns was performed with isoenergetic and isoprotein diets in four treatments: Control, 4N, 8N, and 12N. To determine productive performance, 28 Hampshire lambs, with a live weight of 24.9 ± 0.99 kg and an age of 3 months, were randomly assigned to one of four treatments. Feed intake was recorded daily by the difference between offered and refused feed, and live weight was recorded once a week. The walnut residue contains 24.5% ether extract, 62.5% neutral detergent fiber (NDF), 58.2% acid detergent fiber (ADF), and 18.6% lignin. It also exhibited low dry matter degradability (7.8%) and gas production (50 ml). In the experimental diets, the 12N treatment showed significant differences ($p < 0.05$) in *in vitro* digestibility compared to the other three treatments; however, the maximum gas production volume (V), pH, gas production rate (S), and lag time (L) did not show significant differences ($p > 0.05$). Regarding productive performance, differences were observed ($p < 0.05$) in the variables of CMS and GDP.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE CUADROS	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MARCO TEÓRICO	15
SITUACIÓN DE LA OVINOCULTURA NACIONAL E INTERNACIONAL	15
Producción mundial.....	15
Producción nacional	15
Producción de carne de ovino.....	16
Factores que influyen en productividad de carne de ovino.....	17
Sistemas de producción ovina	19
Sistema Extensivo	19
Sistema Intensivo.....	19
Sistema Semi-Intensivo.....	20
Aspectos generales de nutrición ovina.....	20
Metabolismo del ganado ovino	21
Los Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	21
Aportes Nutrimientales de los Alimentos para Rumiantes	23
Materia Seca (MS).....	23
Proteína Cruda o Bruta	24
Carbohidratos	24
Lípidos.....	25
Minerales	26
Agua	26
Efecto del nivel de fibra de la dieta sobre el metabolismo ruminal	27
Efecto del nivel de almidón sobre el metabolismo ruminal	28
Efecto del nivel de proteína de la dieta sobre el metabolismo ruminal	29
Efecto del nivel de grasa de la dieta sobre el metabolismo ruminal	30

Estrategias nutricionales	31
Alimentos para ovinos de engorda	31
Alternativas en alimentación ovina	33
Parámetros productivos en ganado ovino de carne	34
Ganancia de peso.....	34
Consumo voluntario de materia seca (CVMS)	35
Conversión alimenticia.....	35
Producción de nuez en México	35
Disponibilidad de residuo de nuez.....	37
Uso de la nuez y sus subproductos para la alimentación de rumiantes.	38
III. JUSTIFICACIÓN	39
IV. HIPÓTESIS.....	41
V. OBJETIVOS.....	42
Objetivo general.....	42
Objetivos específicos.....	42
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	43
Localización del área de estudio	43
Fase 1: Caracterización fisicoquímica del residuo de nuez.....	43
Fase 2: Fermentación in vitro.....	44
Dietas experimentales	44
Registro de datos y obtención de muestras	47
Variables de respuesta y análisis estadístico	49
Fase 3: Evaluación in vivo de parámetros productivos en corderos de engorda.....	49
Tamaño de muestra.....	49
Animales	51
Periodo de adaptación de los animales	51
Desarrollo del experimento	51
Análisis estadístico	53
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
Caracterización del residuo de nuez.....	54
Parámetros de fermentación in vitro del residuo de nuez.....	56
Parámetros de producción de gas in vitro de los tratamientos.....	58
Determinación de Ácidos Grasos volátiles	60
Rendimiento productivo (In vivo)	60
VIII. CONCLUSIONES.....	63

IX. LITERATURA CITADA	64
X. ANEXOS	75
Anexo 1	75
Anexo 2.	76
Presentación de los avances de investigación titulados: “DIGESTIBILITY, FERMENTATION PARAMETERS AND SHORT CHAIN FATTY ACIDS PRODUCTION UNDER IN VITRO CONDITIONS OF DIETS WITH PECAN SHELLS FOR FATTENING LAMBS” en el World Buiatrics Congress, 20-24 de mayo de 2024	76
Anexo 3	79
Resumen en el XXII Congreso internacional de ovinocultura “EFFECT OF INCORPORATING WALNUT RESIDUES IN THE DIET OF FATTENING LAMBS ON THEIR PRODUCTIVE PERFORMANCE” realizado en Acapulco los días 23-25 de octubre de 2024	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales componentes de los alimentos para consumo animal.	23
Figura 2. Relación entre la potencia y el número de réplicas.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición física y química de la carne ovina nacional e importada.....	17
Cuadro 2. Ingredientes (% MS) y composición nutricional de dietas experimentales para corderos de engorda con la inclusión de residuo de nuez.	44
Cuadro 3. Reactivos utilizados para las soluciones macrominerales y microminerales.....	46
Cuadro 4. Porcentaje de cáscara y semilla de las diferentes procesadoras de nuez	54
Cuadro 5. Composición química del residuo de nuez.....	56
Cuadro 6. Parámetros de la cinética de producción de gas, pH y degradabilidad de la materia seca (DMS), en dietas para ovinos en engorda con diferentes de niveles de inclusión de residuo de nuez.	58
Cuadro 7. Cantidad de AGV's expresados en mmol de la fermentación <i>in vitro</i> de dietas para ovinos en engorda con niveles de inclusión crecientes de residuo de nuez.	60
Cuadro 8. Parámetros del rendimiento productivo en ovinos de engorda alimentados con diferentes niveles de inclusión de residuo de nuez en la dieta.	61

I. INTRODUCCIÓN

La producción ovina es una actividad pecuaria económica y socialmente importante en la mayoría de los países. A nivel mundial la población de ovinos se encuentra principalmente en Asia con aproximadamente 194 millones de ovejas, seguido de Oceanía con alrededor de 76 millones de ovejas, en África su población es de 50 millones, Europa con una población que ronda los 138 millones, y en último lugar América que tiene una población ovina de cerca de 54 millones (Mazinani & Rude, 2020)

Los principales productores de ovino en Asia se centran especialmente en regiones del Medio Oriente y Asia Central, en Oceanía, Australia y Nueva Zelanda lideran tanto en producción ovina como caprina, aprovechando sus extensas áreas rurales y condiciones favorables, en el continente Africano la ganadería de ovejas y cabras es clave en muchas comunidades rurales del continente, mientras tanto en Europa, los principales productores de ovejas son Reino Unido, España, Alemania, Rusia y Francia, mientras que Rusia, España, Rumanía, Grecia e Italia destacan en la cría de cabras y por último en América, Brasil, Argentina, Bolivia, Perú, México y Uruguay concentran la mayor población ovina, y Brasil, México, Argentina, Perú y Bolivia lideran en el sector caprino (Estévez-Moreno & Miranda-de la Lama, 2022).

La ovinocultura en México se desarrolla en diferentes escenarios productivos; Intensivo, extensivo y mixto, siendo extensivo el más popular, distribuido principalmente en regiones rurales en donde es considerada una actividad importante para la ganadería familiar, al tener una buena tasa de rentabilidad y crecimiento (Hernández-Marín, 2017). En México el mayor productor de ovinos es el Estado de México, seguido del estado de Hidalgo y, en tercera posición el estado de Veracruz (Calderón-Cabrera et al., 2022). El destino principal de la carne de ovino es para barbacoa, aunque también se ocupa para mixiotes, cortes, lana y leche (Alanís et al., 2022). La producción ovina está determinada por múltiples factores como los ambientales, manejo sanitario y manejo nutricional, al igual que en otros sistemas de producción animal, la alimentación es el rubro más relevante representando hasta el

80% de los costos totales de producción. Las dietas se basan principalmente en granos y forraje, siendo el maíz el ingrediente principal para la formulación de dietas balanceadas para los ovinos en engorda (Salinas-Martínez et al., 2022).

La problemática radica en que México es autosuficiente en la producción de maíz blanco, que es destinado para la alimentación humana, pero la producción de maíz amarillo no se satisface, ya que su principal uso es para la alimentación animal y se tiene que recurrir a importaciones principalmente de Estados Unidos (Jaime-Vargas, 2024). De esta manera, el aumento de los precios de granos y forrajes y la presión productiva han llevado a la búsqueda de nuevas alternativas de ingredientes en la formulación de dietas en ganado ovino (Posadas-Domínguez et al., 2024). La industria nuecera que comercializa la almendra de la nuez destinada al consumo humano genera desperdicios denominados residuo de nuez, los cuales, se pueden utilizar como ingrediente en la alimentación de los animales de producción; sin embargo, su uso como ingrediente en la alimentación de ovinos es poco frecuente y de manera empírica, probablemente por desconocimiento de sus aportes nutricionales a los borregos.

Por lo anterior, el objetivo fue evaluar los efectos de diferentes niveles de inclusión de residuo de nuez en dietas de ovinos de engorda sobre los patrones de fermentación ruminal *in vitro* y el rendimiento productivo de corderos en engorda; además de la caracterización nutritiva del residuo de nuez utilizado como ingrediente en animales en producción.

II. MARCO TEÓRICO

SITUACIÓN DE LA OVINOCULTURA NACIONAL E INTERNACIONAL

Producción mundial

La producción ovina a nivel mundial es una actividad pecuaria y económica de gran relevancia en diversas regiones. Entre los principales productores de carne ovina destacan China (2,812,600) Millones de toneladas (Mt) anuales, seguida de India (1,141,450 Mt), Australia (849,249 Mt), Turquía (569,065 Mt) y Nueva Zelanda (442,115 Mt) (FAOSTAT, 2023). El crecimiento y la eficiencia en la producción ovina dependen de diversos factores, como el mejoramiento genético, una alimentación balanceada y la capacidad de adaptación a distintos climas, estos elementos han permitido optimizar la productividad y la calidad de la carne ovina a nivel mundial, sin embargo, la industria enfrenta importantes desafíos, entre ellos el impacto ambiental generado por la producción ganadera y la creciente competencia con otras fuentes de proteína más económicas, como el pollo y el cerdo y ante este panorama, la búsqueda de sistemas de producción más sostenibles y eficientes se ha convertido en una prioridad para garantizar el futuro de la ganadería ovina (Galaviz-Rodríguez et al., 2014).

Producción nacional

En México, se produjeron un total de 68,451.27 toneladas de carne de ovino, de los principales estados productores se destaca en primer lugar el Estado de México concentrando el 13.7 % del inventario nacional, le siguen Hidalgo con el 11.6 % y Veracruz con el 8.4 %. (SEDARH, 2023).

En México, en el 2016 se reportaron 118 mil toneladas de ovino en pie, de las cuales se destinaron 60,300 toneladas para carne en canal; se estima que en 2023 la producción nacional de carne ovina alcanzó las 68,451 toneladas, lo cual representa un incremento del 13.5% en comparación con 2016. Lo anterior refleja un crecimiento sostenido en la industria ovina nacional durante ese periodo (SADER, 2017). En el

2019, se estimó un consumo aparente de 70,812 toneladas y un consumo per cápita de 567 gramos, importándose hasta 6,782 toneladas de carne de Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda, el faltante podría estar compensado por crías que no fueron usadas en la reproducción y que se destinan al consumo (Bobadilla-Soto et al., 2021).

Los ovinos brindan productos de alto valor nutricional y económico como la carne, la cual contiene proteínas de alta calidad ideales para cubrir los requerimientos proteicos de ingesta recomendada diaria para el humano, también aporta leche utilizada para la elaboración de quesos y otros productos lácteos y, la lana que es empleada en la industria textil para fabricar prendas y otros artículos (Silau & Ploszaj, 2009).

En los últimos 10 años la demanda de carne de ovino se ha reducido en cuanto a las importaciones; sin embargo, la carne congelada sigue siendo la opción para compensar el déficit donde el consumo principal de esta carne está ligado a la barbacoa, un platillo tradicional que se prepara principalmente en el centro del país, aunque al mismo tiempo han surgido diferentes alternativas de comercialización como cortes, charcutería y otras presentaciones, para tener mercados más diversificados (Alanís et al., 2022b).

Producción de carne de ovino

El sistema de producción de ovino en México tiene como principal objetivo la producción de cordero para abasto de carne la cual se consume principalmente en forma de barbacoa y mixiotes. Aunque también la carne de ovino se puede encontrar en menor cantidad comercializada en cortes especializados para el mercado gourmet (Herrera Haro et al., 2019).

La carne de ovino contiene nutrientes necesarios para la alimentación humana, y su calidad depende de factores que modifican sus características químicas. En el Cuadro 1 se muestran algunas características de la carne de ovinos dependiendo su origen de producción. Cabe mencionar que la carne nacional tiene mayor resistencia al corte comparado con la carne importada, por el contrario, la carne importada tiene un

mayor contenido de grasa. Existe una correlación negativa entre el contenido de grasa y la dureza de la carne en los animales para abasto (Velázquez-Garduño et al., 2024)

Cuadro 1. Composición física y química de la carne ovina nacional e importada.

Variables	Tipo de carne	
	Carne Nacional	Carne Importada
Proteína (%)	21.27	20.27
Grasa (%)	2.07	3.37
Humedad (%)	77.33	64.53
Color Subjetivo	3.45	3.55
Resistencia al corte (kg)	3.73	2.09

Modificado de Mariezcurrena et al. (2013)

Factores que influyen en productividad de carne de ovino

En la producción de carne de ovino interactúan diversos factores que determinan la eficiencia productiva, la calidad del producto y la rentabilidad de los sistemas productivos (Núñez, 2017). La ovinocultura enfrenta desafíos para consolidarse como una actividad económica primaria en muchas regiones, por lo que cabe destacar la importancia de comprender los factores clave que influyen en esta producción como: manejo, genética, nutrición, características agroclimáticas, así como los factores económicos y de mercado (Lara-Rivera et al., 2024).

Factores genéticos y reproductivos

Con respecto al grupo genético, tipos raciales como Suffolk, Hampshire y Charolais destacan por su alta tasa de crecimiento, mientras que los tipos raciales de pelo como Dorper, Blackbelly, Katahdin y Pelibuey se adaptan eficientemente a condiciones climáticas diversas, lo que les otorga ventajas en sistemas de producción tropicales y extensivos. El tipo racial también incide en atributos organolépticos como la terneza, jugosidad, sabor y perfil de ácidos grasos de la carne. En los tipos raciales de pelo suelen presentar un menor espesor de grasa corporal y un perfil lipídico más saludable, por ejemplo, mayor cantidad de ácido linoleico conjugado (Martínez, 2023).

El genotipo ovino tiene una influencia significativa en la producción de carne, la tasa de crecimiento, la madurez fisiológica, las características de la canal, la calidad de la carne y la adaptabilidad al ambiente, siendo estos parámetros fundamentales para evaluar el valor comercial del animal y en términos de calidad de la carne (Castillo-Hernández et al., 2024).

Los factores reproductivos también desempeñan un papel crucial en la producción de carne ovina, ya que influyen en la disponibilidad y calidad de los corderos, la prolificidad, el tipo de parto influye en las características productivas y composicionales de los corderos, los corderos de parto simple tienden a tener mayor peso al nacimiento y mayor rendimiento de canal, que los de parto múltiples (Chávez-Espinoza et al., 2021a).

Factores sanitarios y de manejo

Los factores sanitarios y de manejo inciden directamente en la salud, el bienestar animal, el crecimiento y la calidad de la carne. La presencia de enfermedades infecciosas y parasitarias representan un problema en los primeros meses de vida en los corderos, por lo que un manejo integral que combine sanidad, nutrición y bioseguridad aumenta la probabilidad de supervivencia, por lo que la implementación de programas sanitarios y de bioseguridad adecuados resulta esencial para optimizar la productividad, reducir las pérdidas económicas y asegurar la sostenibilidad del sistema productivo ovino (Lara-Rivera et al., 2024). Entre los principales retos se encuentra el bienestar animal y la generación de subproductos con valor agregado para lograr una producción ovina eficiente, rentable y sostenible (Vargas-Bello-Pérez et al., 2023).

Factores nutricionales

Los factores nutricionales desempeñan un papel fundamental en la producción de carne de ovinos, ya que influyen directamente en el crecimiento, desarrollo, características del canal y calidad de la carne. Una nutrición adecuada es esencial

para lograr una mejor rentabilidad en los sistemas ovinos, los aspectos a considerar son: alimento balanceado y consumo de agua, según el sistema de producción, el estado fisiológico, el sexo, la edad y el peso vivo de los animales (Martínez, 2023). La alimentación influye en la calidad de la carne determinando características organolépticas como el sabor y el contenido de ácidos grasos y afectando el marmoleo y la textura, por lo que es fundamental promover estrategias nutricionales para mejorar la eficiencia productiva y la competitividad del sector ovino (Pardos & Fantova, 2015).

Sistemas de producción ovina

En México, la producción ovina se puede clasificar en distintos sistemas de producción, los cuales varían según la ubicación geográfica, los recursos disponibles, los objetivos de producción y las condiciones socioeconómicas de los productores, estos sistemas de producción son: sistema extensivo, intensivo o semi intensivo (Morris, 2017).

Sistema Extensivo

Se caracteriza por la cría de ovinos en grandes áreas de pastoreo, en el enfoque en la producción de carne y lana, destaca por ser un sistema de producción a bajo costo, minimizando el uso de insumos externos, manejando mejor los recursos naturales que están disponibles en el medio ambiente, así mismo este sistema genera empleo e ingresos en las comunidades rurales. Tomando en cuenta que se debe de seleccionar razas ovinas adecuadas para este sistema de producción, hacer planes de manejo sostenible, el constante monitoreo de plagas y parásitos para cuidar el bienestar animal (Hernández-Guzmán et al., 2023).

Sistema Intensivo

Ese sistema se caracteriza por producir una mayor cantidad de ovinos en un área más pequeña y bajo condiciones controladas, donde la alimentación que se les proporciona es una dieta balanceada, que utiliza concentrados y suplementos,

también se implementan prácticas de manejo, como la vacunación, desparasitación, aplicación de vitaminas y manejo de enfermedades. Se tienen que tomar en cuenta, diversos puntos para tener un sistema intensivo, de los cuales el diseño de las instalaciones adecuadas, que incluyan áreas de descanso y alimentación donde el espacio requerido por cabeza es de 1.20 m² a 3.50 m², según se trate de corderos o animales adultos (Partida-De La Peña et al., 2017).

Sistema Semi-Intensivo

Destaca por ser una combinación de los dos sistemas anteriores, la característica principal es que los ovinos se crían en pastizales, pero también reciben una alimentación suplementada a base de concentrados y suplementos minerales para mejorar su crecimiento y producción, se implementan prácticas de manejo en la reproducción para mejorar la eficiencia productiva y calidad en los animales. Se desarrolla en muchas comunidades rurales del mundo, complementando los ingresos del productor y el nivel de producción de estos sistemas depende de la disponibilidad de las tierras agrícolas, áreas de pastoreo, la mano de obra familiar y de la venta de animales (Chávez-Espinoza et al., 2021b).

Aspectos generales de nutrición ovina

Los ovinos que se alimentan a base de concentrados tienen mejores ganancias de peso en comparación con los que sus dietas son basadas en forrajes. La alimentación con base en el pastoreo produce carne más magra y con menos grasa, aunque requieren un mayor tiempo para llegar al peso deseado, también, este sistema de producción normalmente reduce los costos de producción comparada con un sistema en completa estabulación (De Brito et al., 2017).

La nutrición es esencial para la productividad, la salud y la rentabilidad en los sistemas de producción. Los requerimientos nutricionales varían de acuerdo con el sistema productivo, el estado fisiológico, sexo, la edad y fin zootécnico (SoltaniNezhad et al., 2016). Entre los componentes nutricionales fundamentales se encuentran: el agua, indispensable para el desarrollo; la energía que es utilizada para el mantenimiento y la

productividad; la proteína, nutrimento esencial para el crecimiento e hipertrofia del músculo; la fibra para la funcionalidad ruminal; los minerales y las vitaminas que son esenciales para desarrollar funciones fisiológicas. Una formulación adecuada garantiza la eficiencia, el bienestar animal y una respuesta productiva óptima en los corderos (Guerra-Medina et al., 2015).

Metabolismo del ganado ovino

Los rumiantes son mamíferos que presentan un sistema digestivo adaptado en cuatro compartimientos: el retículo, rumen, omaso y abomaso, estas estructuras les permite aprovechar al máximo los nutrientes presentes en los pastos y forrajes, ya que pueden descomponer compuestos vegetales complejos como la celulosa, hemicelulosa y pectina. La descomposición de estos compuestos se da principalmente en el rumen, donde ocurre un proceso de fermentación en un ambiente sin oxígeno (Arias-Islas et al., 2020). Dentro del rumen habitan diversos microorganismos como bacterias, protozoos y hongos los cuales transforman los polisacáridos en monosacáridos o alguna otra molécula simple para ser utilizada como fuente de energía para el animal, principalmente ácidos grasos volátiles (AGV) como el acético, el propiónico y el butírico. Estos AGV se absorben en el rumen y se destinan a distintas funciones metabólicas (González-Lemus et al., 2024)

Los Ácidos Grasos Volátiles (AGV)

Los AGV son moléculas de cadena corta que se originan durante el proceso de fermentación del alimento en el rumen, este proceso es llevado a cabo por microorganismos como bacterias y protozoos, que emplean enzimas tanto internas como externas para descomponer los compuestos presentes en la dieta del rumiante. Los AGV que se obtienen en mayor cantidad son el ácido acético, propiónico y butírico, mientras que otros como el caproico, caprílico, ácido fórmico, isobutírico, valerico e isovalérico se encuentran en menores concentraciones (Zavaleta-De Lucio, 2025).

Producción de AGV

En los rumiantes, uno de los procesos más relevantes para su nutrición es la fermentación microbiana que ocurre en el rumen, Dentro de esta cámara especializada podemos encontrar bacterias protozoarios y hongos, estos son encargados de descomponer los carbohidratos que provienen de la dieta especialmente aquellos de tipo estructural como la celulosa y la hemicelulosa, así como los almidones y azúcares simples todo esto a partir de una fermentación anaeróbica. Los principales ácidos grasos volátiles que se generan en el rumen es el acetato, propionato y el butirato representando entre el 90 y 95 % de los ácidos grasos volátiles producidos, la proporción de cada uno de estos depende principalmente del tipo de alimentación que recibe el animal (Van-Gastelen et al., 2015)

Cuando la dieta es alta en fibra, el ácido graso volátil que predomina es el acetato, concentrados o almidones pueden aumentar el propionato. El butirato es el de menor cantidad y tiene un papel fundamental para el desarrollo del epitelio ruminal y la generación de cuerpos cetónicos (Agematu et al., 2017)

Se estima que los AGV aportan entre el 60 y el 75 % de la energía metabolizable necesaria para un rumiante; sin embargo, se tiene que tomar en cuenta su productividad como se mencionó con anterioridad. El acetato es transportado hacia los tejidos periféricos donde se usa para la síntesis de lípidos, especialmente en animales de engorda. El propionato al ser absorbido se lleva hacia el hígado donde se transforma en glucosa por medio de la gluconeogénesis teniendo un aporte energético para las funciones de crecimiento muscular y reproducción. Por último, el butirato es convertido a un cuerpo cetónico que sirve como fuente de energía y tiene un rol importante en el desarrollo y mantenimiento del epitelio ruminal (Murali et al., 2017).

Aportes Nutrimientales de los Alimentos para Rumiantes

El adecuado manejo nutricional en rumiantes requiere una comprensión profunda de la composición bromatológica de los alimentos. Estos componentes no solo aportan energía y precursores para la síntesis tisular, sino que también influyen directamente en la fermentación ruminal y en la salud del animal (Saha & Pathak, 2021). La evaluación bromatológica permite caracterizar los alimentos y conocer su valor nutricional (Campos, 2000).

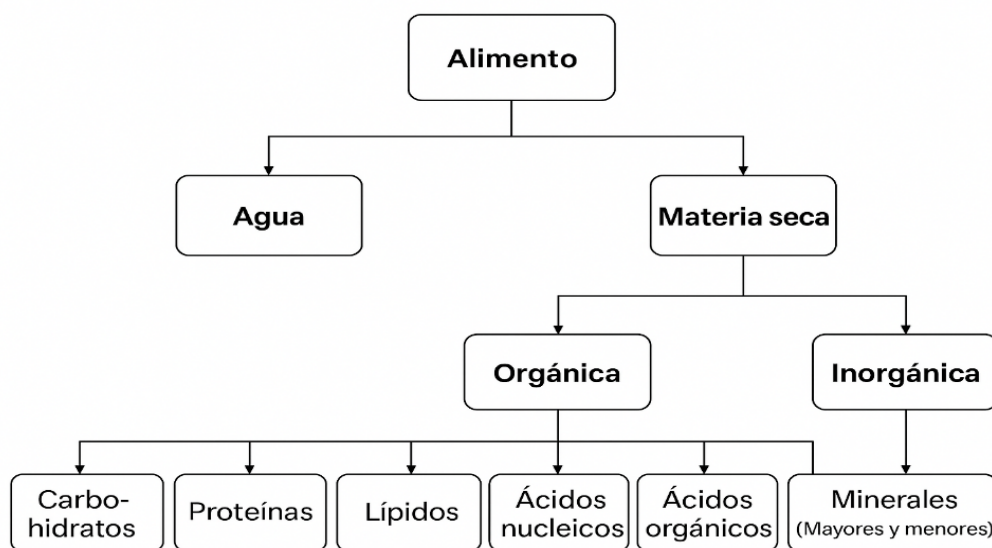


Figura 1. Principales componentes de los alimentos utilizados en rumiantes. Adaptado de (Campos, 2000).

Materia Seca (MS)

La Materia Seca (MS) representa el contenido total de sólidos de un alimento, excluyendo el agua, su determinación es crucial para expresar con precisión la composición química y el valor nutritivo de los ingredientes de la dieta, permitiendo comparaciones válidas entre ellos (Saha & Pathak, 2021). Generalmente, se cuantifica mediante el secado de una muestra a una temperatura controlada hasta alcanzar un peso constante. La composición química de los ingredientes utilizados para alimentar a los animales se muestra en materia seca para evitar la variabilidad inherente al contenido de humedad (Saha & Pathak, 2021).

Proteína Cruda o Bruta

Las proteínas son compuestos orgánicos nitrogenados indispensables para la vida, ya que cumplen funciones estructurales y metabólicas esenciales en las células y en el organismo de los animales. La cuantificación de la Proteína Cruda (PC) se realiza mediante la estimación del contenido total de nitrógeno (N) en los alimentos, utilizando el método Kjeldahl, cuyo resultado se multiplica por el factor 6.25, bajo el supuesto de que las proteínas contienen en promedio un 16% de nitrógeno. Es importante considerar que la PC no solo refleja la fracción de proteína verdadera, sino que también incluye compuestos nitrogenados no proteicos (NNP) tales como aminoácidos libres, urea, nitratos y nitritos (Saha & Pathak, 2021).

La distinción adquiere especial relevancia en los rumiantes, ya que los microorganismos del rumen tienen la capacidad de utilizar los compuestos nitrogenados no proteicos (NNP) para la síntesis de proteína microbiana la cual representa una fuente de aminoácidos de alto valor biológico para el animal. De manera complementaria, la proteína de la dieta se clasifica en proteína degradable en el rumen (PDR) y proteína no degradable en el rumen (PNDR), lo que facilita una formulación más precisa de las raciones orientada a satisfacer de forma eficiente los requerimientos de aminoácidos, en particular en animales de alta producción (Arias-Islas et al., 2020).

Carbohidratos

Los carbohidratos son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza y la principal fuente de energía en las dietas de los rumiantes, los carbohidratos se pueden clasificar de diversas formas, pero en términos de nutrición animal se dividen en fibras, almidón y azúcares. En este sentido, la fermentación microbiana de los carbohidratos en el rumen es fundamental, ya que puede cubrir hasta el 100% de los requerimientos energéticos del rumiante (Campos, 2000).

La fibra es un componente heterogéneo de la pared celular vegetal, compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Saha & Pathak, 2021). Se clasifica

con fines prácticos en Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácido (FDA). La FDN incluye celulosa, hemicelulosa y lignina, y se utiliza como un índice del volumen de la ración y un límite para la capacidad de ingestión, recomendándose niveles de 25-45% en la dieta (Campos, 2000). La FDA comprende celulosa y lignina, siendo la diferencia entre FDN y FDA el contenido de hemicelulosa. La lignina es un compuesto fenólico, limita la digestibilidad de los carbohidratos estructurales al protegerlos de la degradación microbiana. La fibra detergente neutro físicamente efectiva (FDNe) se refiere a la capacidad real de la fibra para estimular la rumia y la salivación, manteniendo un pH ruminal óptimo y promoviendo la actividad celulítica; un desequilibrio en el nivel de fibra de la dieta puede provocar acidosis ruminal o una reducción de la ingestión de materia seca (Moore & Jung, 2001).

El almidón es el carbohidrato de reserva en las plantas, abundante en granos, semillas, tubérculos y raíces. El almidón está compuesto por amilosa y amilopectina. En rumiantes, la digestión del almidón es más rápida que la de los carbohidratos estructurales y puede ocurrir tanto en el rumen como en el intestino delgado (Nozière et al., 2010). La fermentación ruminal del almidón produce principalmente propionato, un ácido graso volátil glucogénico esencial para la producción de glucosa. Sin embargo, el exceso de almidón altamente digestible en el rumen puede reducir el pH ruminal y comprometer la digestión de la fibra, conduciendo a acidosis (Moore & Jung, 2001).

Los azúcares incluyen monosacáridos (como glucosa, fructosa, galactosa) y oligosacáridos (como sacarosa, lactosa, maltosa), que se encuentran en frutas, miel, leche y savia, estos carbohidratos son fermentados rápidamente en el rumen (Saha & Pathak, 2021).

Lípidos

Los lípidos son triacilgliceroles de ácidos grasos y sus derivados, solubles en solventes orgánicos pero insolubles en agua, y son las fuentes más ricas de energía en la dieta, aportando aproximadamente 2.25 veces más energía que los

carbohidratos y proteínas. Su determinación se basa en el contenido de extracto etéreo de la dieta que incluye triglicéridos, esteroides, ceras, aceites esenciales, pigmentos y vitaminas liposolubles. En rumiantes, los lípidos de la dieta son hidrolizados por lipasas microbianas ruminales, liberando los ácidos grasos que posteriormente son biohidrogenados parcialmente (Jean-François & Dominique, 1999); por otro lado, queda libre el glicerol para la producción de ácidos grasos volátiles (Plata-Pérez et al., 2022). Aunque la grasa suplementaria puede aumentar el propionato, niveles altos o ciertos tipos de grasa pueden reducir la ingestión de materia seca y la digestibilidad de la FDN. La composición de los ácidos grasos en las grasas animales difiere según la especie y la dieta, siendo las grasas de los rumiantes, más duras debido a una mayor proporción de ácidos grasos saturados resultante de la biohidrogenación ruminal (Saha & Pathak, 2021).

Minerales

Los minerales son componentes inorgánicos esenciales que desempeñan roles estructurales, reguladores y catalíticos en el cuerpo de los animales (Suttle, 2010). Se clasifican en macrominerales como el calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), azufre (S), cloro (Cl) y magnesio (Mg) y microminerales como el hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), selenio (Se), yodo (I), manganeso (Mn), cobalto (Co), cromo (Cr) y flúor (F) (Anderson & Allen, 1994). Estos elementos son cruciales para la formación de huesos y tejidos, el mantenimiento del equilibrio ácido-base y la presión osmótica, y actúan como cofactores en numerosas enzimas y hormonas (Suttle, 2010). La concentración de minerales en los ingredientes de los alimentos para rumiantes está influenciada por la concentración en el suelo, su forma química y solubilidad, destacando la interrelación entre el suelo, el agua, las plantas y los animales en la nutrición mineral (Waqas & Salman, 2024).

Agua

El agua es un componente indispensable de la vida y, aunque a menudo no se considera un nutriente en sí mismo, es fundamental para todas las funciones

fisiológicas, actúa como solvente universal, termorregulador, medio de transporte para nutrientes y metabolitos, y facilita las funciones excretoras (Sampath et al., 2023). El contenido de agua en el cuerpo animal es variable y disminuye con la edad, por ejemplo, un ternero recién nacido contiene 75-80% de agua, mientras que un animal maduro puede tener entre 50-70%. La deshidratación, es decir, la pérdida de agua más allá de un nivel crítico es incompatible con la supervivencia. En ovejas los requerimientos de agua son aproximadamente de 7 a 9 % de su peso vivo (Saha & Pathak, 2021).

Efecto del nivel de fibra de la dieta sobre el metabolismo ruminal

El nivel de fibra en la dieta de los rumiantes ejerce una influencia crítica en la dinámica del metabolismo ruminal y en la eficiencia de la utilización de nutrientes. El rumen, como principal sitio de fermentación, depende de la actividad de una microbiota diversa incluyendo bacterias celulolíticas para degradar polisacáridos estructurales como la celulosa y hemicelulosa, componentes que son indigestibles para mamíferos no rumiantes debido al tipo de enlaces que los caracterizan (Arias-Islas et al., 2020). Esta degradación microbiana es fundamental, ya que puede satisfacer hasta el 100% de los requerimientos energéticos del rumiante mediante la producción de ácidos grasos volátiles, principalmente ácido propiónico el cual es el precursor de la glucosa sintetizada a nivel hepático, además de ser esencial para la síntesis de acetato, un precursor vital para la grasa en la leche por parte de la glándula mamaria (Campos, 2000).

La fibra contribuye a la capacidad amortiguadora del medio ruminal a través de la estimulación en la producción de saliva, lo cual es crucial para mantener un pH ruminal equilibrado, un factor determinante para una fermentación óptima y la prevención de patologías digestivas. La digestibilidad de la FDN ha demostrado ser similar entre diferentes tipos de rumiantes y niveles de ingesta, lo que sugiere una estabilidad relativa de este proceso a pesar de las variaciones dietéticas (Asmare et al., 2012).

Sin embargo, un manejo inadecuado del contenido de fibra puede generar desafíos metabólicos significativos, un exceso de fibra en la dieta puede reducir la ingestión de materia seca, la digestibilidad general de la ración, la síntesis de proteína microbiana ruminal y el aporte de energía, limitando el potencial productivo del animal al disminuir la tasa de pasaje (Casterline et al., 1997). Por otro lado, una disminución de aporte de fibra puede conducir a trastornos como acidosis ruminal, laminitis o desplazamiento de abomaso, debido a la falta de llenado ruminal y a una reducción del pH, afectando negativamente la actividad celulolítica. A pesar de que las diferencias en la digestibilidad de la fibra pueden no impactar significativamente el estado energético, la formulación de dietas debe buscar un equilibrio preciso, generalmente entre 25-45% de FDN, para maximizar la ingestión de materia seca y salvaguardar la función ruminal, considerando que la fibra es un factor clave en la producción de metano entérico (Angeles-Hernandez et al., 2024).

Efecto del nivel de almidón sobre el metabolismo ruminal

El almidón es un componente energético primordial en las raciones de rumiantes, cuya digestión en el rumen impacta directamente la disponibilidad de nutrientes para los tejidos y la composición de los ácidos grasos volátiles (AGV) ruminales, las dietas ricas en almidón favorecen el desarrollo de microorganismos amilolíticos, lo que se traduce en un aumento significativo de la proporción de propionato, un AGV glucogénico que contribuye a la utilización del exceso de poder reductor en el rumen al utilizar H^+ para su síntesis (Nozière et al., 2010). Las vías fermentativas microbianas transforman el almidón en piruvato, que luego se convierte en una mezcla de AGV, incluyendo acético, propiónico y butírico, predominando el propionato con el incremento de concentrados en la dieta, esta modulación de AGV es esencial para la homeostasis energética del rumiante, ya que el propionato es la principal fuente de glucosa hepática (Saha & Pathak, 2021).

No obstante, un nivel excesivo de almidón digestible en el rumen puede desencadenar alteraciones metabólicas perjudiciales. Un incremento de tan solo 10 g/kg de materia seca de almidón digestible en el rumen puede reducir drásticamente el pH ruminal,

comprometer la digestión de la fibra detergente neutro (FDN) y alterar la relación acetato/propionato, favoreciendo la producción de ácido láctico y acidosis (Nozière et al., 2010). Aunque el almidón digerido en el intestino delgado es más eficiente para la aparición de glucosa sistémica que el propionato ruminal, el almidón que escapa a la fermentación ruminal es hidrolizado en monosacáridos en el duodeno por amilasas pancreáticas, por lo tanto, el control del sitio de digestión del almidón es crucial para prevenir trastornos digestivos y optimizar la eficiencia energética, balanceando el aporte de AGV ruminales y glucosa intestinal post-ruminal (Zhong et al., 2021).

Efecto del nivel de proteína de la dieta sobre el metabolismo ruminal

La proteína de la dieta en los rumiantes se somete a una compleja serie de procesos en el rumen que definen su impacto metabólico. Las bacterias proteolíticas ruminales, como *Bacteroides amylophilus* y *Butyrivibrio fibrisolvens*, son responsables de la fermentación de los componentes proteicos, hidrolizando péptidos y aminoácidos que son utilizados para su propio crecimiento o catabolizados a amoníaco (NH_3), este amoníaco es un sustrato nitrogenado esencial para la síntesis de proteína microbiana, la cual es una fuente fundamental de aminoácidos de alto valor biológico para el animal rumiante (Arias-Islas et al., 2020). El reciclaje de nitrógeno, mediante el retorno de urea al rumen para su conversión en NH_3 , subraya la eficiencia metabólica del sistema, aunque los flujos netos de N-amoniaco a través de la víscera drenada portal y el hígado pueden variar con los niveles de ingesta, siendo mayores con ingesta restringida (Asmare et al., 2012).

La proporción de proteína hidrolizada en el rumen es variable y depende de factores como su solubilidad y cantidad en la dieta, si bien la fermentación ruminal puede ser ventajosa al mejorar la calidad de los aminoácidos a partir de proteínas de bajo valor, el exceso de proteínas de alta calidad puede resultar en una pérdida considerable de nitrógeno en forma de urea, disminuyendo la calidad final de los aminoácidos absorbidos por el (Saha & Pathak, 2021). Para animales de alta producción, es imperativo suministrar una combinación equilibrada de proteína degradable en el rumen (PDR) para sustentar el crecimiento microbiano y proteína no degradable en el

rumen (PNDR) que escape a la fermentación ruminal y sea digerida enzimáticamente en el intestino delgado, asegurando así un suministro adecuado de aminoácidos esenciales para las necesidades del animal, como la producción de leche y proteínas corporales (Murali et al., 2017).

Efecto del nivel de grasa de la dieta sobre el metabolismo ruminal

El suministro de grasa en la dieta de los rumiantes es una estrategia que permite proporcionar una cantidad significativa de energía en un volumen reducido. Los triacilglicéridos (TG) se hidrolizan en el rumen por lipasas microbianas, liberando ácidos grasos libres que posteriormente son biohidrogenados hasta la saturación de los hidrógenos teniendo como resultado los ácidos grasos saturados que serán absorbidos y almacenados como grasa saturada (Jean-François & Dominique, 1999). Si bien las dietas ricas en grasa pueden aumentar los niveles de ácido propiónico, la adición de grasa suplementaria se ha asociado con una reducción en la ingesta de materia seca y una disminución en la digestibilidad ruminal de la fibra detergente neutro (Nawaz & Ali, 2016).

La magnitud del efecto de la grasa sobre el metabolismo ruminal y el rendimiento animal está condicionada por múltiples factores, incluyendo la fuente de grasa, la composición de los ácidos grasos (longitud de cadena y grado de saturación), el nivel de inclusión en la dieta y los tratamientos previos de la grasa (Jean-François & Dominique, 1999). Por ejemplo, las dietas ricas en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en terneros pre-rumiantes, pueden estimular la producción de quilomicrones y lipoproteínas de alta densidad, afectando los niveles de colesterol, además, en vacas lecheras de alta producción, el hígado puede experimentar una captación elevada de ácidos grasos no esterificados (AGNE), lo que podría predisponer al hígado graso debido a una limitada capacidad de síntesis y secreción de lipoproteínas de muy baja densidad. Estos hallazgos resaltan la necesidad de una cuidadosa consideración en la formulación de dietas con grasa suplementaria para optimizar la función ruminal y el perfil metabólico del animal (Francisco et al., 2019; Toral et al., 2018).

Estrategias nutricionales

En la actualidad, las estrategias nutricionales buscan una forma diferente en la que se aborda la nutrición y alimentación animal, puesto que ha cambiado drásticamente, orientándose hacia prácticas más específicas y sostenibles, buscando mejorar el desempeño productivo de cada animal sin afectar su bienestar. Dentro de las estrategias que han tomado un papel fundamental, se encuentra la ganadería de precisión, la cual se basa principalmente en la recopilación y análisis de datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones en diferentes aspectos clave como la salud, la alimentación, el ambiente y el bienestar animal, también optimizan el uso de recursos, reducen desperdicios y contribuyen a la sostenibilidad económica y ambiental de las explotaciones ganaderas (Rashmi et al., 2025)

Alimentos para ovinos de engorda

Maíz

En México el uso del maíz es principalmente para consumo humano, pero debido a las condiciones productivas de las distintas regiones, existen diferencias considerables en la productividad, en el norte del país se cuenta con sistemas mecanizados y riego, el rendimiento de producción es aún mayor que el producido en sistemas tradicionales (González-Cruz & Torres-Rojo, 2024).

Los países que tienen una mayor producción de maíz destacan Estados Unidos, China Brasil y Argentina, México al ser el séptimo productor con 27 Millones de toneladas (Mt) en el 2021, de la cuales la producción de maíz blanco fue de 24.2 Mt y de maíz amarillo fue de 2.8 Mt, pero la producción de este último no fue suficiente, por lo cual se tuvieron que recurrir a importaciones de 15.81 Mt provenientes de Estados Unidos. Siendo el maíz amarillo destinado su mayor parte a la alimentación animal y en menor parte para la industria del almidón, haciendo a México un país dependiente de las exportaciones (Medina et al., 2024).

Sorgo

El sorgo se cultiva en condiciones donde es difícil cultivar otros cereales, principalmente se produce a zonas cálidas y secas, en México los principales estados productores son Tamaulipas, Nayarit y Sinaloa con una producción de 4.8 millones de toneladas. (Cuevas-Reyes et al., 2021). Aunque existe un alto nivel de producción de sorgo, las cosechas no son suficientes para cubrir la demanda nacional, por lo que se recurren a importaciones provenientes principalmente de Estados Unidos, Brasil y Francia con un total de 98 mil toneladas de sorgo (SIAP, 2024)

Cebada

El principal uso de la cebada es como forraje para rumiantes y cerdos en la alimentación animal, el uso en los humanos se da básicamente para la industria cervecera, teniendo una alta demanda en la elaboración de cerveza, llevando a la competencia por éste grano con la ganadería y el consumo humano, (Badea & Wijekoon, 2021) en el 2023, la producción de cebada en México fue de 832,037 toneladas, lo que significó una caída respecto a 2022, esto puede deberse principalmente a una reducción de la superficie cosechada y a condiciones climáticas adversas. Los principales estados productores fueron Hidalgo, Guanajuato, Tlaxcala, Puebla, Chihuahua y Estado de México, los cuales concentraron el 90% de la producción nacional, pero la producción en México de la cebada, como otros cereales no se cubre la demanda nacional, recurriendo así a las importaciones provenientes de países como Australia, Francia y Estado Unidos (SIAP, 2023).

Alfalfa

La alfalfa es un cultivo forrajero de relevancia en México, por su alto valor nutricional utilizado en la alimentación del ganado, particularmente en sistemas de producción lechera y de carne, se encuentra en forma de heno o ensilado, pero también se puede dar el pastoreo directo. Este ingrediente aporta proteínas, minerales y vitaminas esenciales para el desarrollo animal, beneficiando tanto a bovinos, ovinos, porcinos,

equinos y aves. Los principales estados productores de alfalfa destacan Chihuahua, Hidalgo, Guanajuato y Durango, donde el cultivo se da en mayor parte en terrenos que cuentan con sistemas de riego, pero así mismo este cultivo se adapta a diferentes condiciones agroclimáticas (Alarcon-Zuniga & Martínez, 2012).

Alternativas en alimentación ovina

Los subproductos agroindustriales son el desecho de las industrias, su eliminación se plantea como un problema ambiental, pero dentro de este problema surge una alternativa para poder usar estos subproductos como una alternativa para la nutrición en rumiantes, dado que la alimentación es un factor clave para la producción, esta se puede ver limitada, al utilizar dichos subproductos, por lo que se tiene que conocer la composición química, para poder ofrecerlos de forma segura a los rumiantes, puesto que debido a la gran cantidad de subproductos de origen vegetal se pueden encontrar metabolitos secundarios que pudieran tener un efecto negativo y al mismo tiempo también pueden sugerir un beneficio para las rumiantes (Jalal et al., 2023).

El uso de los subproductos agroindustriales no solo puede mejorar la productividad animal, sino que también se pueden reducir la huella de carbono, haciendo un uso más respetuoso con el medio ambiente y más rentable, diferentes estudios señalan que estos subproductos poseen propiedades antimicrobianas, antioxidantes y antisépticas, que al tener estas cualidades se pueden influir en mejorar la calidad de la carne y mejorar la producción en los rumiantes (Boudalia et al., 2024).

En la alimentación del ganado en México se han utilizado con éxito diversos subproductos agroindustriales, los cuales representan una alternativa económica, sustentable y al mismo tiempo reducir el uso de los insumos primarios para la ganadería. Entre los más relevantes se encuentra el bagazo de cervecería, un residuo húmedo y rico en proteína cruda que se genera durante la elaboración de cerveza y que se emplea comúnmente en dietas para rumiantes (Rivas-Jacobo et al., 2017), otro subproducto ampliamente utilizado es la pulpa de cítricos, proveniente del

procesamiento de frutas como naranja y toronja, que aporta energía fácilmente fermentable y fibra digestible, siendo especialmente útil en regiones citrícolas (Mateos et al., 2019). Asimismo, el pulido de arroz, derivado de la molienda de este cereal, se destaca por su contenido energético y de fibra moderada, además de tener buena aceptación en los rumiantes (Salinas-Chavira et al., 2011). El uso de granos secos de destilería con solubles, son derivados del proceso de fermentación del maíz en la industria del etanol, en la alimentación de ovinos de engorda su uso se ha convertido en una práctica cada vez más común debido a su alto valor nutricional, ricos en proteína cruda, energía digestible y fibra, al ser en un ingrediente ideal para complementar dietas basadas en forrajes o raciones totales mezcladas (Cobos-Peralta et al., 2018).

Por otro lado, la cáscara de nuez se ha empleado como fuente fibrosa en dietas de mantenimiento para rumiantes, en ovinos de engorda, se ha utilizado principalmente como una fuente de fibra en dietas de mantenimiento o en fases tempranas de adaptación al corral, contribuyendo a la salud ruminal y la motilidad digestiva; sin embargo, la presencia de compuestos fenólicos requieren un manejo cuidadoso, evitando niveles excesivos que puedan disminuir la digestibilidad de la dieta o reducir el consumo voluntario (Olguín-Arredondo et al., 2014).

Parámetros productivos en ganado ovino de carne

Ganancia de peso

La ganancia de peso en animales es un parámetro productivo que indica el aumento de masa corporal de un animal a lo largo del tiempo, como resultado del consumo y aprovechamiento de los nutrientes presentes en su dieta, para determinar la ganancia diaria de peso en animales en producción, principalmente en engorda se realiza una resta al peso final del animal menos el peso inicial dividiendo el resultado entre el número de días en los que el animal estuvo en el corral de engorda, este parámetro de medición es un indicador importante para el rendimiento productivo y la rentabilidad de los sistemas productivos (Mejía-Haro et al., 2021).

La ganancia diaria de peso de las diferentes razas ovinas son un factor importante para la selección de animales en el sistema de producción, la raza Suffolk es reconocida por tener una ganancia diaria de peso, entre los 300 y 450 g/día, la Hampshire registra ganancias entre 280 y 400 g/día, en cuanto a la Dorper, se distingue por su adaptación a condiciones áridas, con una ganancia diaria promedio de 250 a 350 g/día, la Katahdin, por otro lado, tiene una ganancia diaria de peso entre 200 y 300 g/día (NRC, 2007a).

Consumo voluntario de materia seca (CVMS)

Es la cantidad de alimento en base seca que un animal ingiere por iniciativa propia en un periodo de tiempo determinado, su influencia está relacionada con la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia. Los factores que influyen el consumo voluntario de materia seca son: la calidad del alimento, la cantidad ofrecida, las condiciones ambientales, la composición del alimento y factores fisiológicos propios de los animales como edad, estado fisiológico peso, condición corporal, etc. (Tarazona et al., 2012).

Conversión alimenticia

Es un indicador que mide la eficiencia con la que un animal transforma el alimento consumido en carne leche o huevo, se considera un parámetro productivo importante en todos los sistemas de producción animal destinados para carne, este se obtiene al dividir el consumo total de alimento del animal entre la ganancia diaria de peso, cuanto menor sea el coeficiente mayor será la eficiencia del animal, explicando así que el animal necesito menos cantidad de alimento para producir carne, de los factores que afectan este parámetro influyen el consumo de alimento y la ganancia diaria de peso (Iza-Caisalitin, 2017).

Producción de nuez en México

La nuez pecanera (*Carya illinoensis*) se ha consolidado como uno de los cultivos agrícolas más significativos dentro del sector frutícola de México, no solo por su

relevancia económica, sino también por el impacto económico que genera en los estados donde se produce, destinada principalmente al consumo humano, tanto en forma natural como procesada en productos alimenticios y de repostería. En cuanto al ámbito internacional, México ocupa el segundo lugar como productor mundial de nuez pecana y es reconocido como el mayor exportador de este fruto, el aumento constante en la demanda de nuez, particularmente desde países asiáticos como China, ha estimulado la expansión de esta actividad en el país, dentro de otros mercados relevantes se encuentran también Corea del Sur y diversas naciones europeas (Orona et al., 2019).

Este cultivo tiene una distribución geográfica específica, concentrándose principalmente en entidades del norte del país. El estado de Chihuahua se posiciona como el principal productor nacional, contribuyendo con más de la mitad de la producción total, seguido de los estados como Sonora, Coahuila, Durango y Nuevo León, donde las condiciones climáticas semisecas y templadas favorecen el desarrollo del nogal pecanero, en estos estados, la implementación de tecnologías agrícolas modernas y la tecnificación de los huertos han mejorado significativamente los niveles de producción por unidad de superficie, fortaleciendo así la economía nacional y local (SIAP, 2023).

Más allá de la producción del fruto, es importante destacar el aprovechamiento de los residuos y subproductos, como la cáscara de nuez pecanera, la cual ha demostrado tener múltiples aplicaciones, dentro de las cuales se están utilizando en sectores diversos como el agropecuario, donde sirven como fibra en la alimentación de rumiantes, así como en la producción de composta, y en áreas industriales como la fabricación de cosméticos o sistemas de filtración, ofreciendo una fuente de ingresos relevante para los agricultores y todo el sector que se dedica a la producción de este cultivo (McNeill et al., 2024).

Disponibilidad de residuo de nuez

El uso de subproductos agroindustriales como fuentes alternativas para la nutrición animal, promueve la economía circular, al mismo tiempo que se reducen residuos y contaminantes, tomando en cuenta la disponibilidad de los recursos primarios y factores socioeconómicos que son propios de cada región de donde se obtienen dichos subproductos (Vázquez-Martínez et al., 2018).

El sector agrícola mexicano, caracterizado por su diversidad productiva, genera una notable cantidad de residuos agroindustriales, los cuales representan una oportunidad significativa para su transformación en recursos útiles, como suplementos para alimentación animal, biofertilizantes o fuentes de energía alternativa (Godoy Padilla et al., 2020). Dentro de este panorama, los residuos provenientes de la industria de la nuez destacan como un subproducto con alto potencial de aprovechamiento, aunque actualmente poco explorado.

A pesar de que la producción de nuez en México genera subproductos como las cáscaras, restos de pulido y otros residuos derivados del procesamiento, gran parte de estos materiales aún no se integran eficazmente a cadenas de valor, y con frecuencia terminan desaprovechados. La identificación del potencial real de estos residuos demanda un análisis riguroso que contemple tanto la disponibilidad en cantidad como sus características fisicoquímicas y su localización geográfica (Jin et al., 2018).

El análisis de la disponibilidad y uso potencial del residuo de nuez en el país debe considerar diversas variables, como los volúmenes de cosecha, las técnicas de procesamiento implementadas y los esquemas de manejo de residuos predominantes en cada zona productiva, teniendo en cuenta que los niveles de generación de estos subproductos varían entre regiones, dependiendo de factores como las condiciones climáticas, el tipo de cultivo utilizado y el precio. Por lo que, se requiere un enfoque integral que permita dimensionar el volumen de residuos de nuez disponible para fines productivos y ambientales (Ignacio Orona et al., 2019).

Uso de la nuez y sus subproductos para la alimentación de rumiantes.

El uso eficiente de los diferentes subproductos que se encuentran disponibles en el mercado puede aliviar el costo y la escasez de las materias primas para la alimentación animal, también ayuda a reducir la contaminación ambiental en la sociedad, dando como resultado alimento a un menor costo, reducción de la competencia y un costo de producción menor (Alao et al., 2017).

Los humanos han adoptado el consumo de la almendra de nuez por sus múltiples bondades ya que es una fuente rica en grasa insaturada, proteínas de alta biodisponibilidad, contenido de fibra y algunos micronutrientes; sin embargo, para extraer la parte comestible de la nuez se tiene que pasar por diferentes procesos, como la cosecha, el secado y descascarado de los cuales se obtiene una cantidad considerable de subproductos, dentro de estos se encuentran las hojas, cáscaras verdes, cáscaras secas, nueces quebradas, polvillo de nuez, entre otros (Khir & Pan, 2019).

La cáscara de nuez tiene 10.6% de extractos, 30.1% de lignina y 49.7% de polisacáridos (Queirós et al., 2020).

En la alimentación para animales, incluir 0.5 y 1.0% de polvo de hojas de arándano y polvo de hojas de nuez mejoran el estado de salud del tracto gastrointestinal de las gallinas ponedoras TETRA SIL (Popescu et al., 2020). En la engorda de corderos, la sustitución de granos de maíz por 10% de nueces no vendibles se mejoró la ganancia de peso, conversión alimenticia y características de los principales cortes de canal (Dayani et al., 2023). También cuando se reemplazó parcialmente el alimento por polvillo de nuez de pecan en un 2.5, 5.0 y 7.5 % en la dieta de gallinas de postura no se observó afectación del comportamiento productivo ni de la coloración de la yema de huevo (García et al., 2022).

III. JUSTIFICACIÓN

El aprovechamiento de subproductos agroindustriales en la alimentación animal constituye una alternativa viable y sostenible para mejorar la eficiencia productiva y reducir el desperdicio de recursos. Entre estos subproductos, el residuo de nuez se presenta como un material con potencial nutricional debido a su contenido de fibra, grasa y compuestos bioactivos que pueden influir positivamente en el desempeño animal. La evaluación de diferentes niveles de inclusión de residuo de nuez en dietas para corderos en engorda permitirá determinar su efecto sobre el rendimiento productivo, considerando parámetros como la ganancia de peso, la conversión alimenticia y el desarrollo corporal. De esta manera, el presente estudio busca generar información científica que contribuya al aprovechamiento racional de recursos agropecuarios y a la implementación de prácticas sustentables en la producción ovina.

La producción ganadera enfrenta actualmente desafíos económicos, ambientales y productivos que exigen la implementación de estrategias innovadoras y sostenibles. Entre ellas, el aprovechamiento de subproductos agroindustriales el residuo de nuez se presenta como un material con potencial nutricional debido a su contenido de fibra, grasa y compuestos bioactivos que pueden influir positivamente en el desempeño animal como una alternativa viable para optimizar los sistemas de alimentación animal. Su incorporación en la dieta no solo contribuye a la eficiencia productiva, sino que también ofrece soluciones alineadas con los principios de la economía circular y la sustentabilidad global.

Desde una perspectiva económica, el uso de subproductos representa una oportunidad significativa para disminuir los costos de producción. Estos materiales, al ser más accesibles y económicos que los ingredientes tradicionales, permiten reducir el gasto asociado a las materias primas sin comprometer la calidad de la dieta. Su contenido nutricional los convierte en insumos funcionales capaces de sustituir parcialmente a los recursos convencionales, disminuyendo la dependencia de

insumos de alto costo y favoreciendo la estabilidad económica de los sistemas ganaderos.

En el ámbito ambiental, la revalorización de residuos agroindustriales contribuye directamente a mitigar los impactos negativos derivados de su disposición inadecuada. Al incorporarlos en la alimentación animal, se evita su acumulación en vertederos, donde pueden afectar suelos y cuerpos de agua. Esta práctica impulsa un enfoque de economía circular que transforma un problema ambiental en un recurso productivo, promoviendo sistemas agropecuarios más limpios y con una menor huella de carbono, especialmente cuando se prioriza el uso de insumos de origen local.

En términos productivos, múltiples subproductos poseen características bioactivas como compuestos polifenólicos que pueden mejorar la digestibilidad, el balance de nitrógeno y la salud ruminal, favoreciendo la eficiencia alimenticia. Asimismo, su inclusión puede incidir positivamente en la calidad de los productos de origen animal, optimizando sus propiedades nutricionales y funcionales. Estas mejoras repercuten en la competitividad del sector, permitiendo responder a la creciente demanda de alimentos de calidad producidos bajo enfoques ambientalmente responsables.

IV. HIPÓTESIS

La inclusión de diferentes niveles de residuo de nuez en la dieta de corderos en engorda mejora su rendimiento productivo, al influir de manera positiva en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* y aprovechar las características nutricionales identificadas en la caracterización del residuo de nuez.

V. OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el efecto de la inclusión de diferentes niveles de residuo de nuez en la dieta de corderos durante la etapa de engorda para determinar su impacto sobre el rendimiento productivo.

Objetivos específicos

- Evaluar las características físicas y el aporte nutrimental del residuo de nuez mediante análisis de laboratorio para formular dietas para corderos de engorda.
- Evaluar el residuo de nuez mediante una prueba de digestibilidad *in vitro* con líquido ruminal para conocer los patrones de fermentación solo o en dietas para corderos de engorda.
- Comparar la ganancia de peso, consumo de materia seca y la conversión alimenticia en corderos alimentados con la inclusión de diferentes niveles de residuo de nuez, mediante un experimento *in vivo* para determinar la mejor respuesta productiva.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se dividió en tres fases: 1) caracterización del residuo de nuez, 2) evaluación de los parámetros de fermentación *in vitro* de dietas para ovinos de engorda con residuo de nuez y 3) evaluación *in vivo* de parámetros productivos en corderos de engorda.

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal (fase 1 y 2) y Módulo Experimental de Ovinos en Crecimiento, localizados en Cd. Universitaria de Tulancingo, perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, localizada en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo. Dicho municipio se localiza a una altitud comprendida entre 2,200 y 2,700 m.s.n.m., y colinda con los municipios de Tulancingo de Bravo, Cuauhtepac de Hinojosa y Singuilucan. Presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual de 16 °C y un rango de precipitación pluvial que oscila entre 500 y 900 mm anuales (INEGI, 2020).

Fase 1: Caracterización fisicoquímica del residuo de nuez

Se recopilaron dos muestras de residuo de nuez de siete empresas comercializadoras (quebradoras) de la región del Valle de Metztitlán. Se recolectaron aproximadamente 1.5 kg de muestra de cada procesadora (dos muestras por quebradora) en bolsas de nylon medianas resellables, a temperatura ambiente, cada muestra se identificó con nombre de la procesadora y número de muestra. Estas muestras fueron obtenidas en el mes de mayo de 2023.

Las dos muestras de cada quebradora se mezclaron para homogenizar su contenido y se tomaron 100 gramos de cada una. Se separó manualmente la cáscara de los residuos de semilla de nuez, posteriormente se pesó por separado la cáscara y los residuos de semilla para determinar el porcentaje de cada componente de este residuo.

Los análisis de laboratorio que se realizaron fueron la determinación de materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE) (AOAC, 2012); además, se realizó la determinación de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest et al., 1991).

Fase 2: Fermentación *in vitro*

Dietas experimentales

Los parámetros utilizados para la formulación de las dietas con el software Small Ruminant Nutrition System® (SRNS), se consideró el peso promedio inicial de los corderos al inicio del experimento, el cual fue de 24.92 ± 0.99 kg. Asimismo, las condiciones ambientales fueron incorporadas como datos de entrada en el software empleado para la formulación de las dietas; dichas condiciones correspondieron a promedios obtenidos a partir de información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Finalmente, las dietas se formularon para ser isoproteicas e isoenergéticas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Ingredientes (% MS) y composición nutricional de dietas experimentales para corderos de engorda con la inclusión de residuo de nuez.

Ingredientes	Control	4 N	8 N	12 N
Cascarilla de naranja	16.4	12.8	20.9	18.7
Maíz roado	36.4	35.1	32.6	27.5
Sorgo roado	19.0	19.0	12.8	10.0
Trigo entero	5.5	8.0	5.4	10.8
Residuo de nuez	0.0	3.6	7.2	10.9
Pasta de soya	9.0	9.6	10.1	10.5
Rastrojo de maíz	12.8	11.0	10.1	10.7
Bicarbonato de sodio	0.9	0.9	0.9	0.9

Composición nutricional

MS, %	96.0	96.0	96.0	96.0
FDN, %	23.5	23.1	23.4	24.8
Grasa, %	2.70	3.90	4.90	5.90
PC, %	12.5	12.5	12.5	12.5
EM, Mcal/kg MS	3.20	3.20	3.20	3.20

4 N= dieta con 3.64 % de inclusión de residuo de nuez; 8 N= dieta con 7.28 % de inclusión de residuo de nuez; 12 N= dieta con 10.92 % de inclusión de residuo de nuez.

Diseño experimental

En la digestibilidad *in vitro* se evaluaron tres niveles de inclusión de residuo de nuez (tratamientos), una dieta control (sin residuo de nuez) y residuo de nuez. Los biodigestores fueron viales serológicos color ámbar de 120 ml de capacidad y boca de 20 mm de diámetro biodigestor y cada uno se consideró como una unidad experimental. Tres digestibilidades se realizaron en el tiempo, cada una con siete repeticiones por tratamiento (dietas y residuo solo) y cinco blancos (sin sustrato).

Preparación del inóculo

Para la digestibilidad *in vitro*, se preparó un inóculo con líquido ruminal, el cual se obtuvo de 2 becerros mediante cánula ruminal. El líquido extraído y exprimido manualmente con guantes de látex, y depositado en un termo previamente acondicionado con agua a 39 °C. Una vez en el laboratorio, el líquido ruminal fue filtrado con cuatro capas de manta cielo, se midió el pH (6.5), con un potenciómetro de mesa con microprocesador (Hanna Instruments, Hi2211).

Los animales, de donde se obtuvo el líquido ruminal, pertenecen al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco de Mora, Estado de México y estaban alimentados con 70 % de forraje y 30 % de un concentrado comercial. En todo momento, los becerros estuvieron manejados de acuerdo con la NOM-062-ZOO-199 que establece las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de

animales de laboratorio. Además, el uso de dichos animales está autorizado por el Comité de Bienestar Animal de dicha institución.

El inóculo se preparó con soluciones minerales (macro y micro), una solución amortiguadora, resazurina, una solución reductora y líquido ruminal (cuadro 3), con la técnica de Theodorou et al. (1994). En un matraz de bola con fondo plano de 6 L, se agregaron las soluciones antes mencionadas manteniendo la temperatura de 39 °C y agitando con una barra magnética. Posteriormente, se aplicó flujo constante de dióxido de carbono (CO₂) para asegurar la anaerobiosis del medio. Después de 5 minutos de homogenización del medio, se agregó el líquido ruminal, se mantuvo la temperatura, el flujo de CO₂ y la agitación.

Cuadro 3. Componentes del inóculo para la prueba de digestibilidad *in vitro* de dietas para corderos de engorda con diferentes niveles de inclusión de residuo de nuez.

Nombre	Fórmula Química	Cantidad
Solución amortiguadora		332.8ml
Bicarbonato de amonio	NH ₄ HCO ₃	1.3 ml
Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	11.6 ml
Agua destilada		319.8 ml
Solución de macromineral		332.8 ml
Fosfato de sodio dibásico	Na ₂ HPO ₄	1.8 ml
Fosfato de potasio monobásico	KH ₂ PO ₄	2.0 ml
Sulfato de magnesio heptahidratado	MgSO ₄ • 7H ₂ O	0.1 ml
Agua destilada		328.9 ml
Solución de micromineral		
Cloruro de calcio dihidratado	CaCl ₂ • 2H ₂ O	13.2 g
Cloruro de magnesio tetrahidratado	MnCl • 4H ₂ O	10 g
Cloruro de cobalto hexahidratado	CoCl • 6H ₂ O	1 g
Cloruro férrico	FeCl ₃	8 g
Agua destilada		0.16 ml
Resazurina		
Resazurina al 0.1 %		1.7 ml
Solución reductora		

Sulfato de sodio anhidro	Na ₂ SO ₄	0.37 g
Hidróxido de sodio al 0.1 N	NaOH	2.6 ml
Agua destilada		66.6 ml
Medio de cultivo		733.4
Líquido ruminal		666.6 ml
Total (ml)		1400 ml

Inoculación e incubación

Una muestra de 0.5 g de sustrato se depositó en cada biodigestor, después se adicionaron 40 ml del medio de cultivo y se añadió CO₂ durante 10 segundos. Inmediatamente, se colocó un tapón de butilo y un arillo de aluminio, el cual se selló con una engarzadora manual. Finalmente, los biodigestores se agitaron suavemente y se colocaron en baño húmedo (Thermo Scientific, 2864, USA) a 39 °C durante 72 horas.

Registró de datos y obtención de muestras

La producción de gas se registró con una bureta de graduada mediante el desplazamiento de agua ocasionado por la presión generada por la fermentación dentro de los biodigestores. Las mediciones se realizaron a las 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 36, 44, 52 y 72 horas de incubación. El gas producido se liberó al término de cada lectura.

A las 72 horas de incubación, los biodigestores fueron retirados del baño húmedo y se colocaron en refrigeración a 4 °C para detener la fermentación. Posteriormente, el tapón fue retirado y el pH del medio fue medido con un potenciómetro de mesa con microprocesador (Hanna Instruments, HI2211). Después, un volumen de 1 ml del medio de cultivo fue obtenido de cada biodigestor y colocado en un vial Eppendorf de 2 ml, con 25 µl de ácido metafosfórico al 25 % (p/v). Estas muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C hasta su posterior análisis de ácidos grasos volátiles (AGV).

Finalmente, el contenido de cada vial se transfirió a un vial de 80 ml con fondo redondo para centrífuga y se centrifugó durante 10 minutos a 15 mil rpm a una temperatura de 4 °C (HERMLE, Z326) El sobrenadante fue decantado y los tubos con el precipitado fueron colocados a 65 °C en un horno de secado (Terlab, T-H-45DM) para su deshidratación durante 24 horas.

Ajuste de la producción de gas

Los datos de volumen parcial de gas producido se utilizaron para calcular el volumen acumulado, el cual se utilizó para calcular los parámetros de la cinética de producción de gas mediante el modelo de Schofield & Pell (1995) el cual es:

$$Va = \frac{V}{1 + e^{2-4S(t-L)}}$$

En donde: Va es el volumen de gas al tiempo (t); V es el volumen máximo (ml g⁻¹ MS); S es la tasa de producción de gas (h⁻¹) y L es el tiempo de retardo (h).

Estos parámetros fueron estimados mediante un proceso iterativo de regresión no lineal utilizando el procedimiento NLIN de SAS® (SAS Institute Inc, 2012).

Análisis de laboratorio

La determinación de la concentración final de AGV en el medio de cultivo se realizó por cromatografía de gases en el laboratorio del departamento de nutrición animal y bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia en la Universidad Nacional Autónoma de México, en Ciudad Universitaria, Cd. de México. Se descongelaron las muestras y se centrifugaron a 17000 g por 20 min, se filtró el sobrenadante obtenido con un acrodisco de nylon hidrofílico de 25 mm de diámetro y un poro de 45 µm. El líquido ruminal filtrado se mantuvo en refrigeración para su posterior inyección en el cromatógrafo de gases. Se inyectaron 2 µL del filtrado, en un cromatógrafo de gases AutoSystem XL (Perkin Elmer Instruments). Las condiciones de trabajo fueron: temperatura de Inyector 190 °C, temperatura del detector de Ionización de Flama (FID) 250 °C, horno a 80 °C, con un programa de

gradiente de temperatura inicial de 80 °C por 1 min, se incrementa a 15 °C/min hasta llegar a 200 °C durante 4 min, el tiempo de corrida total fue de 14 min. Presión de Gas acarreador (Nitrógeno) de (1 mL/min), flujo de Hidrógeno de 45 mL/min, aire 450 mL/min. Los ácidos grasos volátiles se cuantificaron por medio de una columna DB-FFAP (PN- 125-3232, Agilent Technologies, Agilent J&W GC Columns) de 30 mm de largo, diámetro de 0.53 mm (Megaboro) y film de 1.00 µm.

Variables de respuesta y análisis estadístico

Las variables de respuesta fueron:

- pH
- Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS, %)
- Tiempo de retardo (h)
- Tasa de producción de gas (h^{-1})
- Volumen máximo de producción de gas (V, ml g^{-1} MS)
- Concentración total de AGV (mmol/ml)
- Concentración de ácido acético (mmol/ml)
- Concentración de ácido propiónico (mmol/ml)
- Concentración de ácido butírico (mmol/ml)

Los datos de fermentación ruminal *in vitro*, así como la degradabilidad de la materia seca, se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS (2002) utilizando un diseño completamente al azar. Para la comparación de medias se aplicó la prueba de Tukey y con una significancia estadística menor a $P < 0.05$, se realizaron las comparaciones correspondientes

Fase 3: Evaluación *in vivo* de parámetros productivos en corderos de engorda

Tamaño de muestra

El tamaño de muestra se definió utilizando el programa G-Power, dando una potencia estadística del 90 %, considerando la información enlistada a continuación:

- Estadístico de prueba: prueba F
- Números de mediciones repetidas: 6
- Correlación entre las repeticiones: 0.5
- Número de niveles de tratamiento: 4
- Valor de α : 0.05
- Tamaño del efecto: 0.26

El tamaño del efecto se obtuvo calculando las diferencias estandarizadas de un estudio previo para la variable ganancia diaria de peso, en el cual se probaron tratamientos que incluían un control y la adición de harina de nuez, en dietas para corderos de engorda (Costa et al., 2021).

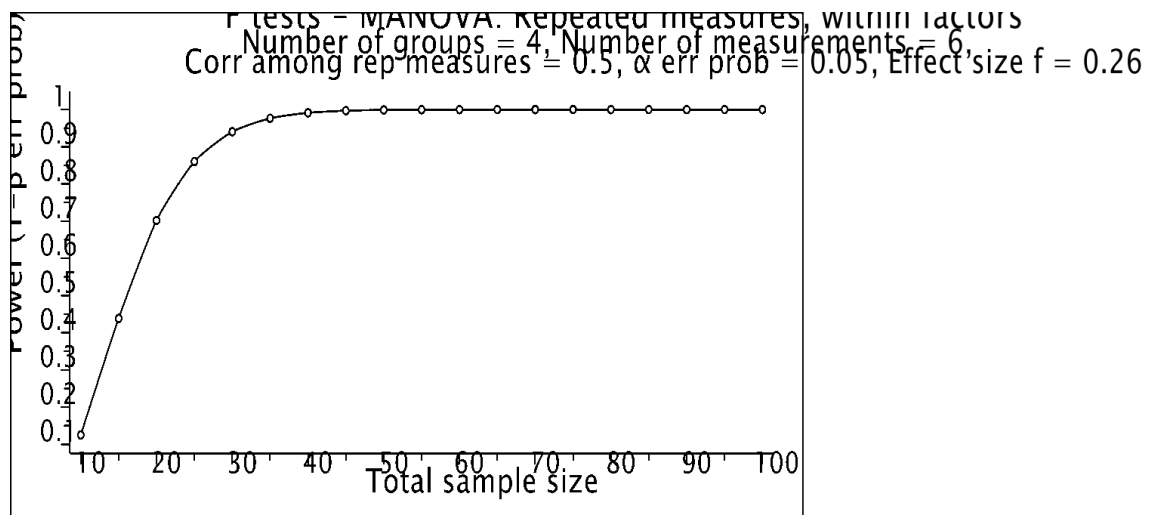


Figura 2. Representación gráfica de obtención de tamaño de muestra con el G-Power

Una vez obtenido el tamaño de muestra, que fue de 28 unidades experimentales, se formaron cuatro grupos con 7 corderos cada uno. El diseño utilizado para este experimento fue un diseño de bloques completos al azar con mediciones repetidas en el tiempo, donde el criterio de bloqueo fue el sexo de los animales.

Animales

El uso de los animales para el experimento *in vivo* fue aprobado por el Comité Institucional Ético para el Cuidado y Uso de los Animales de Laboratorio (CICUAL) de la UAEH, con código de aprobación CICUAL-V-I/015/2023 (Anexo 1).

Se utilizaron 28 corderos de la craza Suffolk con Hampshire, destetados con un peso de 24.92 ± 0.99 kg. Como parte del manejo profiláctico, se aplicó ivermectina (Ivomec F[®]) a una sola dosis de 1 ml/50 kg de peso vivo, vía subcutánea; además, se aplicó Complejo B reforzado[®] a dosis de 2 ml/animal, vía intramuscular profunda. Finalmente, se aplicó bacterina EXGON 10 vías[®].

Los corderos se alojaron de manera individual en corraletas de estructura galvanizada con piso elevado, protegidos contra la radiación solar, el viento y depredadores. Estas corraletas estuvieron provistas de un comedero y agua limpia y fresca a libre acceso.

Periodo de adaptación de los animales

La duración del experimento *in vivo* fue de 78 días, previo a éste se contó con un periodo de 15 días de adaptación a las dietas experimentales, para adaptar el microbiota ruminal y prevenir enfermedades metabólicas (Relling & Mattioli, 2003).

Desarrollo del experimento

Alimentación

Al inició con el experimento la alimentación consistió en proporcionales, diariamente agua al libitum y el concentrado de acuerdo con cada tratamiento correspondiente, los corderos tuvieron dos horarios de comida (7:00 y 15:00 hrs). El alimento rechazado fue retirado diariamente de los comederos, pesado en una báscula digital (Torrey SXE[®]) y registrado en la bitácora de consumo de alimento. Los corderos fueron pesados de manera individual para poder registrar su peso, cada uno fue identificado y posteriormente los animales fueron pesados semanalmente, hasta la finalización del

experimento, en una báscula ganadera (Kongsem®) con capacidad de 150 kilogramos.

Dietas experimentales

Las cuatro dietas experimentales fueron elaboradas de manera integral y homogénea, y almacenadas en condiciones libres de plagas y de humedad para mantener la integridad del alimento.

Grupos experimentales

Los animales se alimentaron conforme a los siguientes grupos:

- Control (C): alimentados con una dieta base sin residuo de nuez (0 %).
- 4N: 3.64 % de inclusión de residuo de nuez en la dieta.
- 8N: 7.28 % de inclusión de residuo de nuez en la dieta.
- 12N: 10.92 % de inclusión de residuo de nuez en la dieta.

Variables respuesta

Las variables de respuesta fueron:

- Consumo Voluntario de Materia Seca (CVMS,g/d)
- Ganancia diaria de peso (GDP, g/d)
- Conversión alimenticia (CA) el Consumo Voluntario de Materia Seca (CVMS, g/d), Ganancia diaria de peso (GDP, g/d) y conversión alimenticia (CA). Los cálculos de dichas variables se describen a continuación.
- $CVMS = \text{Alimento ofrecido} - \text{Alimento rechazado}$
- $GDP = \frac{PF - PI}{D}$

Donde:

PI: Peso inicial

PF: Peso final

D: duración del experimento (78 días)

- $CA = \frac{CVMS}{GDP}$

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de la inclusión de residuo de nuez en las dietas de corderos en engorda, sobre el desempeño productivo, se utilizó un modelo de bloques completamente al azar con mediciones repetidas utilizando como covariable el peso inicial. El modelo mixto fue analizado, utilizando el paquete lme en el lenguaje estadístico R Studio (versión 4.0.2, Vienna, Austria). El modelo se describe a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + Nu_i + A_{j(i)} + Med_k + (NU*Med)_{ik} + SEX_l + \beta x + \epsilon_{ijkl}$$

dónde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general

Nu_i = Efecto fijo del i-esimo nivel de inclusión de residuo de nuez ($i = 0, 3.6, 7.2$ y 10.9 %).

$A_{j(i)}$ = Efecto aleatorio del j-esimo animal

Med_k = Efecto fijo del tiempo en la k-esima medición (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)

$(Nu*Med)_{ik}$ = Efecto fijo de la interacción entre el i-esimo nivel de inclusión de residuo de nuez y el tiempo. en la k-esima medición

SEX_l = Efecto de bloque sexo del l-esimo animal (l = macho, hembra)

βx = Efecto del covariable peso inicial

ϵ_{ijkl} = Error experimental

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del residuo de nuez

En el cuadro 4 se muestra la caracterización del residuo de nuez, donde la cáscara representa 86 % del residuo y la semilla el 14 %. Estos resultados varían de los encontrados por Sürmen & Demirbas, (2003), quienes reportaron que la cáscara comprende el 67 % y la semilla el 33 % del peso total de la nuez. Por su parte, Zhang et al. (2022), encontraron que la nuez presenta una proporción de 49.2 % de cáscara y 50.8 % de semilla. El alto contenido de cáscara observado en este estudio sugiere una elevada proporción de compuestos estructurales como la lignina, este componente es bien conocido por su capacidad para formar enlaces estrechos con celulosa y hemicelulosa, limitando su disponibilidad para la fermentación microbiana en el rumen y, por ende, reduciendo la digestibilidad (Küsters et al., 2021).

Cuadro 4. Porcentaje de cáscara y semilla de las diferentes procesadoras de nuez

Procesadora	Cáscara (%)	Semilla (Nuez %)
Quebradora 1	85	15
Quebradora 2	84	16
Quebradora 3	87	13
Quebradora 4	83	17
Quebradora 5	88	12
Quebradora 6	86	14
Quebradora 7	89	11
Promedio	86	14

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 5 se muestran los hallazgos sobre la composición química del residuo de nuez que se obtuvo en esta investigación, lo cual es relevante ya que no existen reportes sobre este ingrediente. Por su parte, Khir & Pan, (2019) reportan el análisis químico solo de la cascara de nuez en base seca; hemicelulosa del 22.45%, celulosa

del 26.87%, lignina del 48.11% y de cenizas del 3.40%. La lignina es un polímero complejo que forma parte de la pared celular de las plantas, siendo un factor limitante en la digestibilidad en rumiantes, ya que forma enlaces estrechos con la celulosa y la hemicelulosa, lo que las hace menos accesibles a la degradación microbiana en el rumen, reduciendo la digestibilidad y tasa de pasaje ruminal (Campos, 2000; Saha & Pathak, 2021).

La incapacidad de los microorganismos ruminales para degradar la lignina y su efecto protector sobre otros polisacáridos estructurales resultará en una menor producción de ácidos grasos volátiles (AGV), especialmente acetato, el cual es crucial para el aporte de energía y la síntesis de grasa en la glándula mamaria (Nozière et al., 2010). Por lo tanto, el alto contenido de cáscara en este subproducto no solo reduce su valor energético digestible, sino que también podría comprometer la eficiencia general de la fermentación ruminal y la síntesis de proteína microbiana, aspectos fundamentales para la productividad del animal (Campos, 2000). Sin embargo, este alto contenido de fibra podría ser útil en dietas con alto contenido de granos, funcionando como un regulador del consumo y tasa de pasaje (Saha & Pathak, 2021).

Dada la inherente baja digestibilidad y el potencial anti nutricional de un subproducto con una predominancia tan alta de cáscara lignificada, su incorporación en la dieta de rumiantes debe ser cuidadosamente considerada. Aunque la digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN) puede mostrar una variabilidad limitada en rumiantes pequeños bajo ingestas restringidas (Asmare et al., 2012). Por otro lado, la presencia de un alto porcentaje de lignina en un subproducto es un claro indicativo de su baja calidad bromatológica, el aporte nutricional de este ingrediente se debe valorar con base al contenido de otros nutrientes como las grasas, los cuales proporcionan una cantidad considerable de energía (Jean-François & Dominique, 1999).

Se podrían explorar diferentes métodos de procesamiento, que aumenten la accesibilidad de la fibra, como la molienda fina, la adición de enzimas que ayuden a tener una mejor digestibilidad, esto con el fin de mejorar el valor nutricional de la

cascara de nuez, aunque esto debe balancearse con el riesgo de reducir la fibra efectiva y afectar el pH. La formulación de la ración deberá buscar un equilibrio entre la fibra efectiva y la densidad energética, complementando este subproducto con fuentes de carbohidratos de mayor digestibilidad y proteína degradable en rumen para optimizar el ambiente microbiano y mantener un pH ruminal adecuado, mitigando así los efectos negativos de una dieta rica en componentes estructurales poco digestibles (Arias-Islas et al., 2020; Campos, 2000).

Cuadro 5. Composición química del residuo de nuez

Ítem	% MS
Materia seca	93.16
Proteína cruda	5.23
Extracto etéreo	24.5
Cenizas	2.1
Fibra cruda	20.66
Fibra detergente neutro	62.55
Fibra detergente ácido	58.29
Celulosa	39.49
Hemicelulosa	4.26
Lignina	18.64
Calcio	0.28
Fósforo	0.12

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros de fermentación *in vitro* del residuo de nuez

En cuanto a la degradabilidad de la materia seca, ésta presentó un bajo valor (7.8 %), lo cual puede estar relacionado con su alto contenido de fracciones fibrosas estructurales, tales como fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA) y hemicelulosa, lo cual concuerda con Zhong et al. (2021). Estas fracciones son conocidas por limitar la disponibilidad de los carbohidratos fermentables en el rumen, reduciendo así la eficiencia de la fermentación microbiana, por la presencia de monómeros de lignina del tipo S

influyendo en la degradación de las fibras vegetales, al formar enlaces cruzados que dificultan la acción de las enzimas ruminales.

En el caso de la producción de gas *in vitro*, también fue un valor relativamente bajo (50 ml/g MS), atribuible al elevado contenido de FDN que, de acuerdo con Widodo et al. (2023), afecta negativamente tanto la producción total de gas como la cinética de fermentación ruminal, así mismo la presencia de compuestos secundarios como los taninos, presentes en la cáscara y otros tejidos del fruto, podrían haber contribuido a esta baja fermentación, ya que estos metabolitos son conocidos por reducir la actividad microbiana y la degradación de nutrientes en el rumen.

Los resultados revelaron una baja degradabilidad de la MS (7.8%), lo cual podría estar directamente relacionado con el alto contenido de fracciones fibrosas estructurales, incluyendo la FDN, FDA y lignina detergente ácido (LDA). Estas fracciones limitan la disponibilidad de los carbohidratos fermentables en el rumen, reduciendo así la eficiencia de la fermentación microbiana (García-Rodríguez et al., 2019). La presencia de un alto grado de lignificación de la pared celular es un factor clave que explica la baja digestibilidad de la MS y la FDN, así mismo, la lignina influye negativamente en la degradación de las fibras vegetales. Por ejemplo, en algunos subproductos, la lignina representó una proporción muy alta dentro de la FDN, con valores de 64.1% de la FDN en las semillas lo que se correlacionó con su baja digestibilidad (Ngamsaeng et al., 2006).

Con respecto a la producción de gas *in vitro*, el valor relativamente bajo (50 ml/g MS) es atribuible al elevado contenido de FDN y otras fracciones fibrosas lignificadas, debido a que el contenido creciente de FDN en la dieta se ha asociado con una disminución de la producción total de ácidos grasos volátiles (AGV), los cuales son precursores de la producción de gas (Klevenhusen et al., 2012). Estudios han demostrado una correlación negativa entre el contenido de FDN y la producción de gas, además, la alta lignificación de la pared celular en subproductos como semillas de uva y hojas de olivo se ha identificado como la causa de los menores volúmenes de producción de gas *in vitro*, lo que indica una menor extensión de la fermentación

microbiana ruminal (García-Rodríguez et al., 2019). La inclusión de la composición química de la dieta, como el contenido de FDN, en los modelos de análisis mejora la predicción de las respuestas de fermentación, además que nos proporcionarían información útil para el desarrollo de protocolo en ensayos *in vivo* e *in vitro* (Klevenhusen et al., 2012). Asimismo, la presencia de compuestos secundarios como los taninos, que se encuentran en la cáscara y otros tejidos del fruto, podría haber contribuido significativamente a esta baja fermentación (García-Rodríguez et al., 2019). Estos metabolitos, en la categoría más amplia de compuestos bioactivos (BC), son conocidos por reducir la actividad microbiana y la degradación de nutrientes en el rumen.

La suplementación con BC ha demostrado disminuir linealmente las concentraciones de AGV totales y la concentración de amoníaco en el fluido ruminal *in vitro*, lo que sugiere un efecto inhibitor general sobre la actividad microbiana, esta inhibición se atribuye a menudo a la actividad antimicrobiana de los BC, que pueden afectar el crecimiento y la actividad de los microorganismos ruminales (Klevenhusen et al., 2012).

Parámetros de producción de gas *in vitro* de los tratamientos

El pH final, la degradabilidad de la materia seca y los parámetros de la cinética de producción de gas se muestran en el Cuadro 6. El pH con la dieta control fue diferente al de las dietas donde se incluyó algún nivel de residuo de nuez ($P < 0.05$), por la mayor cantidad de carbohidratos altamente fermentables (García Flores et al., 2022). Sin embargo, de acuerdo con las tablas del NRC (2007b), el pH se encuentra dentro del rango normal para corderos en engorda donde se muestra una fermentación propiónica. En este mismo sentido Amanzougarene & Fondevila (2020), mencionan que los forrajes y subproductos fibrosos incrementan el pH hasta 6.5.

Cuadro 6. Parámetros de la cinética de producción de gas, pH y degradabilidad de la materia seca (DMS), en dietas para ovinos en engorda con diferentes de niveles de inclusión de residuo de nuez.

Ítem	Control	Tratamiento			E.E.	Valor de P
		4N	8N	12N		

pH	5.75 ^b	5.84 ^a	5.85 ^a	5.88 ^a	0.025	0.001
DIVMS (%)	75.9 ^a	76.3 ^a	73.2 ^a	71.2 ^b	1.030	0.05
V (mL g-1 MS)	222	226	212	216	5.190	0.22
S (mL h-1)	0.0648	0.0666	0.0666	0.0661	0.003	0.39
L (h)	-0.807	-0.758	-0.591	-0.9	0.147	0.51

EE: Error estándar de la media; V: volumen máximo; S: tasa de producción; L: tiempo de retardo; MS: materia seca; DIVMS = degradabilidad *in vitro* de la MS.

Con respecto a la digestibilidad de la materia seca (DIVMS), el tratamiento 12N fue diferente significativamente en comparación con el grupo control y los otros 2 tratamientos, lo que pudo estar relacionado directamente con el contenido de fibra, según Herrera-Pérez et al. (2018), ya que el residuo de nuez (FDN 62.55%, FDA 58.29%) presentó valores altos en comparación con otros ingredientes nutricionales, cabe mencionar que el contenido de lignina para el residuo de nuez es del 18.64 %, siendo éste componente según lo reportado por Moore & Jung (2001), una fracción anti calidad por su impacto negativo por la disponibilidad de la fibra de la planta, interfiriendo con la digestión de los polisacáridos de la pared celular que conforman los forrajes, ya que la lignina actúa como una barrera física para las enzimas microbianas, relacionándose con el contenido de energía digestible de los forrajes. Aunque la degradación de lignina mediante enzimas no se ha definido exactamente, según Bugg et al. (2011), las enzimas involucradas pudieran ser la peroxidasa y lacasa extracelulares.

Respecto al volumen de gas acumulado, la tasa la producción de gas y el tiempo de retardo, no hubo diferencia estadística significativa entre el tratamiento control y los tres tratamientos con inclusión de residuo de nuez, esto se puede deber a que la concentración de materia orgánica fácilmente degradable es similar en los cuatro tratamientos (Lara et al., 2009). Aunque Posada & Noguera (2005), sugiere que, durante las primeras horas de la fermentación, los procedimientos gravimétricos no son lo suficiente sensibles para detectar los pequeños cambios, tomando esto en

cuenta se pudo observar en el cuadro 5 por qué el tiempo de retardo en todos los tratamientos no tuvo diferencias significativas.

Determinación de Ácidos Grasos volátiles

En el Cuadro 7 se presenta la concentración de ácidos grasos volátiles obtenidos mediante fermentación *in vitro*. Se observa que la producción de ácido acético no mostró diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, el ácido propiónico y el ácido butírico presentaron diferencias únicamente entre el grupo control y el grupo 8N. De manera similar, Cardona Iglesias et al., (2017) reportaron una mayor concentración de ácido acético en su estudio, posiblemente debido a la mayor proporción de forraje utilizada en las dietas, lo cual coincide con la presente investigación, donde la cuantificación de AGV's también reflejó una mayor producción de ácido acético. Asimismo, Rodríguez et al. (2009) señalan que la relación concentrado-forraje, el tipo de dieta y el uso de aditivos modifican el perfil de los AGV, indicando que un incremento en el contenido de fibra generalmente favorece la fermentación de tipo acética.

Cuadro 7. Cantidad de AGV's expresados en mmol de la fermentación *in vitro* de dietas para ovinos en engorda con niveles de inclusión crecientes de residuo de nuez.

AGV's mmol	Control	Tratamiento			E. E	Valor de P
		4N	8N	12N		
Acético	43.3	42.1	37.5	40.60	1.69	0.11
Propiónico	16.3 ^a	15.6 ^{ab}	13.2 ^b	14.5 ^{ab}	0.759	0.04
Butírico	10.74 ^a	10.32 ^{ab}	8.56 ^b	9.09 ^{ab}	0.519	0.02

EE: Error estándar de la media

Rendimiento productivo (*In vivo*)

Los parámetros de rendimiento productivo muestran que el peso final, considerado como variable explicativa, no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Sin embargo, el consumo de materia seca fue mayor en el tratamiento 4N en comparación con los demás tratamientos y con el grupo control, como se observa en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Parámetros del rendimiento productivo en ovinos de engorda alimentados con diferentes niveles de inclusión de residuo de nuez en la dieta.

Variables	Tratamiento				E.E.	Valor de P
	Control	4N	8N	12N		
Peso inicial (kg)	24.4	24.8	25	25.5	0.996	-
Peso final (kg)	42.1	45.9	42.7	39.9	1.720	0.13
Consumo de MS (g/día)	1000 ^b	1188 ^a	1060 ^b	976 ^c	28.200	0.00
Ganancia diaria de peso (kg/d)	0.167 ^{ab}	0.207 ^a	0.179 ^{ab}	0.147 ^c	0.016	0.05
Conversión alimenticia (kg/kg)	5.98	5.75	5.92	6.6	1.390	0.72
Subíndices iguales muestran que no hubo diferencias estadísticas y subíndices diferentes muestran diferencias estadísticas						

Asimismo, este tratamiento registró una mayor ganancia diaria de peso, lo cual coincide con los resultados reportados por Soltani Nezhad et al., (2016) , quienes evaluaron un ensilado elaborado con subproductos de pistacho y dátiles descartados. En su estudio, los mayores consumos de materia seca se asociaron con niveles de extracto etéreo de 3.20% y 3.07%, acompañados también de un incremento en la ganancia diaria de peso. La similitud entre ambos estudios podría explicarse por la reducción de taninos totales durante el proceso de ensilado, en contraste con el secado al sol utilizado para el subproducto evaluado en esta investigación, lo que favorece una mayor palatabilidad y aprovechamiento del alimento.

En relación con la conversión alimenticia, esta variable tampoco presentó diferencias significativas entre los tratamientos. En concordancia, Ramírez et al., (2019) evaluaron alternativas nutricionales sustituyendo cereales por fuentes fibrosas y no observaron efectos negativos sobre la conversión alimenticia ni sobre la ganancia de peso, atribuyendo estos resultados al potencial de crecimiento de los animales y a sus requerimientos energéticos. De manera similar, Landim et al., (2023) reportaron que la

sustitución del subproducto de la industria galletera no afectó el rendimiento productivo de corderos en engorda, permitiendo reemplazar hasta 450 g/kg de materia seca de maíz en la dieta sin comprometer el desempeño productivo. Con base en las variables de respuesta obtenidas en el presente estudio, la inclusión óptima de residuo de nuez parece ser la mínima evaluada, correspondiente al 4% (tratamiento 4N). Este resultado probablemente se relaciona con el contenido de lignina identificado en la caracterización fisicoquímica del residuo, el cual fue de 18.64%. La lignina es un factor determinante en la degradabilidad ruminal, y se ha documentado que solo entre el 10% y el 35% de la energía bruta ingerida asociada a la fracción fibrosa está disponible como energía neta (Hoffman et al., 2016).

VIII. CONCLUSIONES

La inclusión de residuo de nuez en las dietas para corderos en engorda mostró ser una alternativa viable a niveles bajos de sustitución. La caracterización fisicoquímica del residuo reveló un contenido elevado de lignina, componente que limita la degradación ruminal.

Los parámetros de fermentación *in vitro* mostraron que la digestibilidad y la producción de ácidos grasos volátiles tienden a disminuir conforme aumenta el nivel de inclusión del residuo de nuez.

A nivel productivo, aunque variables como el peso final, la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia no mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos, se observó que la inclusión mínima del residuo permitió mantener el desempeño productivo sin efectos adversos y, además, favoreció un mayor consumo de materia seca.

Estos hallazgos indican que el nivel de inclusión más bajo constituye el punto óptimo para aprovechar el subproducto sin comprometer la eficiencia productiva de los animales, mientras que su uso a niveles superiores requiere estrategias adicionales que mejoren su degradación ruminal.

IX. LITERATURA CITADA

- Agematu, H., Takahashi, T., & Hamano, Y. (2017). Continuous volatile fatty acid production from lignocellulosic biomass by a novel rumen-mimetic bioprocess. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 124(5), 528–533. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOOSC.2017.06.006>
- Alanís, P. J., Miranda-de la Lama, G. C., Mariezcurrena-Berasain, M. A., Barbabosa-Pliego, A., Rayas-Amor, A. A., & Estévez-Moreno, L. X. (2022). Sheep meat consumers in Mexico: Understanding their perceptions, habits, preferences and market segments. *Meat Science*, 184, 108705. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2021.108705>
- Alao, B. O., Falowo, A. B., Chulayo, A., & Muchenje, V. (2017). The potential of animal by-products in food systems: Production, prospects and challenges. En *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 9, Número 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su9071089>
- Alarcon-Zuniga, B., & Martínez, T. (2012). *PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE ALFALFA EN EL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO*.
- Amanzougarene, Z., & Fondevila, M. (2020). Fitting of the *in vitro* gas production technique to the study of high concentrate diets. En *Animals* (Vol. 10, Número 10, pp. 1–13). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ani10101935>
- Anderson, J. J. B., & Allen, J. C. (1994). *Nutrition of Macrominerals and Trace Elements*.
- Angeles-Hernandez, J. C., Ku-Vera, J. C., Vázquez-Carrillo, M. F., Castelán-Jaime, S. V., Molina, L. T., Benaouda, M., Kebreab, E., González-Ronquillo, M., Paz-Pellat, F., Montelongo-Pérez, H. D., & Castelán-Ortega, O. A. (2024). Analysis of spatially distributed enteric methane emissions from cattle across the geo-climatic regions of Mexico and uncertainty assessment. *Atmospheric Environment*, 322. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120389>
- AOAC. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International (19th ed)*. AOAC International.
- Arias-Islas, E., Morales-Barrera, J., Prado-Rebolledo, O., & García-Casillas, A. (2020). Metabolismo en rumiantes y su asociación con analitos bioquímicos sanguíneos. *Abanico Veterinario*, 10. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.15>
- Asmare, A., Puchala, R., Tesfai, K., Detweiler, G. D., Dawson, L. J., Askar, A. R., Sahl, T., & Goetsch, A. L. (2012). Effects of small ruminant type and level of intake on metabolism. *Small Ruminant Research*, 102(2–3), 186–190. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.08.003>

- Badea, A., & Wijekoon, C. (2021). Benefits of Barley Grain in Animal and Human Diets. En *Cereal Grains - Volume 1*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97053>
- Boudalia, S., Smeti, S., Dawit, M., Senbeta, E. K., Gueroui, Y., Dotas, V., Bousbia, A., & Symeon, G. K. (2024). Alternative Approaches to Feeding Small Ruminants and Their Potential Benefits. En *Animals* (Vol. 14, Número 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ani14060904>
- Bugg, T. D. H., Ahmad, M., Hardiman, E. M., & Singh, R. (2011). The emerging role for bacteria in lignin degradation and bio-product formation. *Current Opinion in Biotechnology*, 22(3), 394–400. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2010.10.009>
- Calderón-Cabrera, J., Santoyo-Cortés, V. H., Martínez-González, E. G., & Palacio-Muñoz, V. H. (2022). Business models for sheep production in the Northeast and center of the State of Mexico. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 13(1), 145–162. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V13I1.5816>
- Campos, S. C. A. (2000). *FERMENTACIÓN RUMINAL, TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EFECTO DE LA FIBRA EN LA ALIMENTACIÓN DE VACAS LECHERAS*.
- Cardona Iglesias, J. L., Mahecha Ledesma, L., & Angulo Arizala, J. (2017). Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 405. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25697>
- Casterline, J. L., Oles, C. J., & Ku, Y. (1997). *In vitro Fermentation of Various Food Fiber Fractions*. <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- Castillo-Hernández, G., Ochoa-Alfaro, A. E., Ochoa-Cordero, M. A., Jáquez, J. A. M., & Torres-Hernández, G. (2024). Características de las curvas de lactación en ovejas y factores que influyen en su variación: Revisión. En *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* (Vol. 15, Número 4, pp. 930–950). INIFAP-CENID Parasitología Veterinaria. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i4.6551>
- Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Montañez-Valdez, O. D. (2021a). Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva. *Revista MVZ Cordoba*, 27(1). <https://doi.org/10.21897/RMVZ.2246>
- Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Montañez-Valdez, O. D. (2021b). Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva. *Revista MVZ Cordoba*, 27(1). <https://doi.org/10.21897/RMVZ.2246>

- Cobos-Peralta, M. A., Curzaynz-Leyva, K. R., Rivas-Martínez, M. I., Santillán-Gómez, E. A., & Bárcena, J. R. (2018). EFECTO *in vitro* DE DIETAS PARA CORDEROS MÁS UN SUPLEMENTO DE GRANOS SECOS DE DESTILERÍA EN LA FERMENTACIÓN RUMINAL Y EMISIONES DE GASES. *Agrociencia* .
- Costa, J. B., Rogério, M. C. P., Carneiro, M. S. S., Muniz, L. C., Brasil, E. P., Araújo, A. R., Fontenele, R. M., & Batista, N. J. M. (2021). Cashew nut meal as feed supplement for lambs. *Animal*, 15(7), 100203. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100203>
- Cuevas-Reyes, V., Toledano, B. I. S., Juárez, R. S., Jiménez, J. E. R., Meza, A. L., & Gallegos, T. M. (2021). Determining factors for the use of sorghum as fodder for bovines in Northwestern Mexico. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 11(4), 1113–1125. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V11I4.5292>
- Dayani, O., Khatibi, A., & Tajaddini, M. A. (2023). Sustainable utilization of unsaleable walnut kernel in substitution for corn grain in the diet of fattening lambs improves growth performance and meat quality. *Tropical Animal Health and Production*, 55(6). <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03800-3>
- De Brito, G. F., Ponnampalam, E. N., & Hopkins, D. L. (2017). The Effect of Extensive Feeding Systems on Growth Rate, Carcass Traits, and Meat Quality of Finishing Lambs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 23–38. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12230>
- Estévez-Moreno, L. X., & Miranda-de la Lama, G. C. (2022). Meat consumption and consumer attitudes in México: Can persistence lead to change? *Meat Science*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108943>
- FAOSTAT. (2023). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- Francisco, A. E., Santos-Silva, J. M., Portugal, A. P. V., Alves, S. P., & Bessa, R. J. B. (2019). Relationship between rumen ciliate protozoa and biohydrogenation fatty acid profile in rumen and meat of lambs. *PLoS ONE*, 14(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221996>
- Galaviz-Rodríguez, J. R., Ramírez-Bribiesca, J. E., Vargas-López, S., Zaragoza-Ramírez, J. L., Guerrero-Rodríguez, J. D., Mellado-Bosque, M., & Ramírez, R. G. (2014). EFFECT OF THREE PRODUCTION SYSTEMS OF CENTRAL MEXICO ON GROWTH PERFORMANCE OF FIVE LAMB GENOTYPES. *J. Anim. Plant Sci*, 24(5), 1303–1308.
- García Flores, L. R., Arce-Vazquez, N., García Quiñonez, M. A., Martínez Álvarez, E. E., Martínez-Quintana, J. A., García Galicia, I. A., González Maldonado, J., González-Escobedo, R., & Buenabad Carrasco, L. (2022). Polvillo de nuez pecan

- como ingrediente alternativo en las dietas de gallinas de postura: comportamiento productivo y color de yema. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 30(Supl. 1), 163–165. <https://doi.org/10.53588/alpa.300521>
- García-Rodríguez, J., Ranilla, M. J., France, J., Alaiz-Moretón, H., Carro, M. D., & López, S. (2019). Chemical composition, *in vitro* digestibility and rumen fermentation kinetics of agro-industrial by-products. *Animals*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/ani9110861>
- Godoy Padilla, D. J., Daza La Plata, R., Fernández Curi, L. M., Layza Mendiola, A. E., Roque Alcarraz, R. E., Hidalgo Lozano, V., Gamarra Carrillo, S. G., & Gómez Bravo, C. A. (2020). Characterization of the nutritional value of agroindustrial by-products for cattle feeding in the San Martin region, Peru. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 21(2). https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL21_NUM2_ART:1374
- González-Cruz, J. L., & Torres-Rojo, J. M. (2024). Diferencias regionales en la producción de maíz blanco de temporal en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(1). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3170>
- González-Lemus, U., Espino-García, J. J., Almaraz-Buendía, I., Cenobio-Galindo, A. de J., Zaldivar-Ortega, A. K., & Campos-Montiel, R. G. (2024). Nanopartículas de selenio en la agricultura para la alimentación de rumiantes y la disminución de gases de efecto invernadero. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 19, 32–37. <https://doi.org/10.29057/icap>
- Guerra-Medina, C. E., Montañez-Valdez, O. D., Ley-De Coss, A., Reyes-Gutiérrez, J. A., Gómez-Peña, J. E., Martínez-Tinajero, J. J., Pinto-Ruiz, R., & Jalisco México, G. (2015). Alternative sources of fiber in complete diets for sheep in intensive fattening. En *Quehacer Científico en Chiapas* (Vol. 10, Número 1).
- Hernández-Guzmán, F. J., Mendoza-Pedroza, S. I., & Antonio-Medina, A. (2023). Producción y calidad de la carne de ovino de pastoreo en el Estado de México Production and quality of grazing sheep meat in Estado de México *. *Ciencia y Tecnología de la Carne*, 17(2), 101–108. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/nacameh/PENDIENTE>
- Hernández-Marín, J. A. ; V.-P. M. ; R.-N. J. E. ; M.-A. A. I. ; C.-R. C. ; G.-S. J. (2017). *CONTRIBUTION OF SHEEP BREEDING TO THE LIVESTOCK SECTOR IN MEXICO* (Vol. 10).
- Herrera Haro, J. G., Álvarez Fuentes, G., Bárcena Gama, R., & Manuel Núñez Aramburu, J. (2019). Caracterización de los rebaños ovinos en el sur del Distrito Federal. En *México. Acta Universitaria* (Vol. 29). <http://doi.org/10.15174.au.2019.2022>

- Herrera-Pérez, J., Crosby-Galván, M. M., Bárcena-Gama, J. R., Hernández-Sánchez, D., Hernández-Mendo, O., Torres-Salado, N., & Cruz-Monterrosa, R. G. (2018). FERMENTACIÓN RUMINAL Y EMISIÓN DE GASES *in vitro* DE DIETAS CON DIFERENTE INCLUSIÓN DE SEMILLA DE GIRASOL (*Helianthus annuus*) *In vitro* RUMINAL FERMENTATION AND EMISSION OF GASES OF DIETS WITH DIFFERENT INCLUSION OF SUNFLOWER SEED (*Helianthus annuus*). *Agrociencia*, 52, 1071–1080.
- Hoffman, M. L., Peck, K. N., Forella, M. E., Fox, A. R., Govoni, K. E., & Zinn, S. A. (2016). The effects of poor maternal nutrition during gestation on postnatal growth and development of lambs¹². *Journal of Animal Science*, 94(2), 789–799. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9933>
- Ignacio Orona, C., Sangerman-Jarquín, D. M., Cervantes Vázquez, G. M., Espinoza Arellano, D. J. J., & Núñez Moreno, J. H. (2019). La producción y comercialización de nuez pecanera en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8).
- Iza-Caisalitin, K. A. (2017). “CONVERSIÓN ALIMENTICIA EN CUYES FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA”.
- Jaime-Vargas, J. A. (2024). El maíz amarillo como eje de la seguridad y soberanía alimentaria en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. <https://doi.org/10.24836/es.v34i63.1395>
- Jalal, H., Giammarco, M., Lanzoni, L., Akram, M. Z., Mammi, L. M. E., Vignola, G., Chincarini, M., Formigoni, A., & Fusaro, I. (2023). Potential of Fruits and Vegetable By-Products as an Alternative Feed Source for Sustainable Ruminant Nutrition and Production: A Review. En *Agriculture (Switzerland)* (Vol. 13, Número 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020286>
- Jean-Francois, H., & Dominique, B. (1999). Intestinal absorption, blood transport and hepatic and muscle metabolism of fatty acid in preruminat and ruminant aanimals. *Elsevier*.
- Jin, Q., Yang, L., Poe, N., & Huang, H. (2018). Integrated processing of plant-derived waste to produce value-added products based on the biorefinery concept. *Trends in Food Science & Technology*, 74, 119–131. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.02.014>
- Khair, R., & Pan, Z. (2019). Walnuts. En *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products* (pp. 391–411). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00016-2>

- Klevenhusen, F., Muro-Reyes, A., Khiaosa-ard, R., Metzler-Zebeli, B. U., & Zebeli, Q. (2012). A meta-analysis of effects of chemical composition of incubated diet and bioactive compounds on *in vitro* ruminal fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1–4), 61–69.
<https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2012.07.008>
- Küstters, J., Pötsch, E. M., Resch, R., & Gierus, M. (2021). The effect of summer water stress on the nutritive value of orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) in permanent grassland under increased temperature and elevated atmospheric CO₂. *Ecological Indicators*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107566>
- Landim, A. V., de Nazaré Carneiro da Silva, L., Costa, H. H. A., de Sousa, L. C. O., Silveira, R. M. F., de Tasso Vasconcelos Filho, P., Costa, A. C., & Silva, F. V. e. (2023). Effects of by-product from biscuit industry on performance and carcass traits of fattening Morada Nova lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 55(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03424-z>
- Lara, P. E., Canché, M. C., Magaña, H., Aguilar, E., & Sanginés, J. R. (2009). Producción de gas *in vitro* y cinética de degradación de harina de forraje de morera (*Morus alba*) mezclada con maíz. En *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* (Vol. 43).
- Lara-Rivera, A. L., Parra-Bracamonte, G. M., Flores-Garibay, R., Vazquez-Armijo, J., Martínez-González, J., Magaña-Monforte, J. G., & Moreno-Medina, V. (2024). Caracterización de los sistemas de producción de ovinos de pelo en Baja California, México. *Revista Bio Ciencias*.
<https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1588>
- Martínez, E. D. (2023). Productive performance, carcass and meat characteristics of sheep livestock: implications. En *Analecta Veterinaria* (Vol. 43, Número 1). National University of la Plata Faculty of Veterinary Sciences.
<https://doi.org/10.24215/15142590e079>
- Mateos, L., García-Rodríguez, J., Saro, C., Carro, M. D., & Ranilla, M. J. (2019). EFECTO DE LA SUSTITUCION DE MAÍZ POR PULPA DE CITRICOS EN UNA DIETA PARA OVINO LECHERO SOBRE SU FERMENTACIÓN EN EL SISTEMA RUSITEC. *AIDA Jornadas sobre Producción animal* , 251–253.
- Mazinani, M., & Rude, B. (2020). Population, world production and quality of sheep and goat products. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 15(4), 291–299. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2020.291.299>
- McNeill, D. C., Pal, A. K., Nath, D., Rodriguez-Urbe, A., Mohanty, A. K., Pilla, S., Gregori, S., Dick, P., & Misra, M. (2024). Upcycling of ligno-cellulosic nutshells waste biomass in biodegradable plastic-based biocomposites uses - a

- comprehensive review. *Composites Part C: Open Access*, 14, 100478.
<https://doi.org/10.1016/J.JCOMC.2024.100478>
- MEDINA HERNÁNDEZ, J., CAAMAL CAUICH, I., PAT FERNÁNDEZ, V. G., & ÁVILA DORANTES, J. A. (2024). Current challenges and forecasts in maize grain production and consumption in Mexico. *Agro Productividad*.
<https://doi.org/10.32854/agrop.v17i5.2741>
- Mejía-Haro, I., Soria-Rodríguez, L. I., Ortiz-de la Rosa, B., Marín-Perales, V. M., Ramón-Ugalde, J. P., Rivera-Lorca, J., & Ramos-Dávila, M. (2021). Parámetros productivos de corderos alimentados con dietas de diferente concentración de vainas de *Prosopis laevigata*. *Acta Universitaria*, 31.
- Moore, K. J., & Jung, H.-J. G. (2001). Lignin and fiber digestion. *Agricultural Research Service*, 54, 420–430.
- Morris, S. T. (2017). Overview of sheep production systems. *Advances in Sheep Welfare*, 19–35. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100718-1.00002-9>
- Murali, N., Fernandez, S., & Ahring, B. K. (2017). Fermentation of wet-exploded corn stover for the production of volatile fatty acids. *Bioresource Technology*, 227, 197–204. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2016.12.012>
- Nawaz, H., & Ali, M. (2016). Effect of supplemental fat on dry matter intake, nutrient digestibility, milk yield and milk composition of ruminants. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 53(1), 271–275.
<https://doi.org/10.21162/PAKJAS/16.4781>
- Ngamsaeng, A., Wanapat, W., & Khampa, S. (2006). Evaluation of Local Tropical Plants by *In vitro* Rumen Fermentation and Their Effects on Fermentation. *Pakistan Journal of Nutrition*.
- Nozière, P., Ortigues-Marty, I., Loncke, C., & Sauvant, D. (2010). Carbohydrate quantitative digestion and absorption in ruminants: from feed starch and fibre to nutrients available for tissues. *Animal*, 4(7), 1057–1074.
<https://doi.org/10.1017/S1751731110000844>
- NRC. (2007a). *Nutrient Requirements of Small Ruminants*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11654>
- NRC. (2007b). *Nutrient Requirements of Small Ruminants*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11654>
- Núñez, O. P. (2017). Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. *Journal of the Selva Andina Animal Science*.

- Olguín-Arredondo, H. A., Stevens-Barrón, J.C., Macías-Cruz, U., De la Rosa-Carrillo, L., Quintero-Elísea, J.A., & Janacua-Vidales, H. (2014). *Cáscara de nuez (C. Illinoensis) en la dieta de corderos en engorda: capacidad antioxidante en plasma sanguíneo y carne*. 496–500.
- Pardos, L., & Fantova, E. (2015). Rentabilidad de las explotaciones de pequeños rumiantes. *ESTRATEGIAS DE RENTABILIDAD EN OVINO DE CARNE*, 4–10.
- Partida-De La Peña, J. A., Ríos-Rincón, F. G., De La Cruz-Colín, L., Domínguez-Vara, I. A., & Buendía-Rodríguez, G. (2017). Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 8(3), 269–277. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4203>
- Popescu, R. G., Voicu, S. N., Pircalabioru, G. G., Ciceu, A., Gharbia, S., Hermenean, A., Georgescu, S. E., Panaite, T. D., & Dinischiotu, A. (2020). Effects of dietary inclusion of bilberry and walnut leaves powder on the digestive performances and health of tetra SL laying hens. *Animals*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/ani10050823>
- Posada, S. L., & Noguera, R. R. (2005). *In vitro* gas production technique: A tool for evaluation of ruminant feeds. *Livestock Research for Rural Development*, 1–18. <https://www.researchgate.net/publication/286576364>
- Posadas-Domínguez, R. R., Ávila-Castillo, B. R., Ángeles-Hernández, J. C., & Salinas-Martínez, J. A. (2024). ANÁLISIS DE LA COMPETITIVIDAD DEL SISTEMA EXTENSIVO DE PRODUCCIÓN. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 21(3), 421–434.
- Queirós, C. S. G. P., Cardoso, S., Lourenço, A., Ferreira, J., Miranda, I., Lourenço, M. J. V., & Pereira, H. (2020). Characterization of walnut, almond, and pine nut shells regarding chemical composition and extract composition. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10(1), 175–188. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00424-2>
- Ramírez, C. A., Blanco, F. P., Ibáñez, A. H., Sánchez, N. N., Domenech, F. R., Medina, P. G., & Martínez Marín, A. L. (2019). Effects of concentrates rich in by-products on growth performance, carcass characteristics and meat quality traits of light lambs. *Animal Production Science*, 59(3), 593. <https://doi.org/10.1071/AN17798>
- Rashmi, K. M., Prabhu, T. M., Soren, N. M., Yathish, H. M., & Mahesh, M. S. (2025). Cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut meal could be a promising alternative protein feedstuff for lambs. *Small Ruminant Research*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2025.107501>

- Relling, A. E., & Mattioli, G. A. (2003). *FISIOLOGIA DIGESTIVA Y METABOLICA DE LOS RUMIANTES*.
- Rivas-Jacobo, M., Herrera-Medina, R., Santos-Díaz, R., Herrera-Corredor, A., Escalera-Valente, F., & Martínez-González, S. (2017). Bagazo húmedo de cervecería como sustituto de cereales en la suplementación de ovinos. *Abanico Veterinario*, 7(3). <https://doi.org/10.21929/abavet2017.73.2>
- Rodríguez, R., Fondevila, M., & Castrillo, C. (2009). *In vitro* ruminal fermentation of Pennisetum purpureum CT-115 supplemented with four tropical browse legume species. *Animal Feed Science and Technology*, 151(1–2), 65–74. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2008.11.005>
- SADER. (2017). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural* . La ovinocultura, una actividad muy arropadora.
- Saha, S. K., & Pathak, N. N. (2021). *Fundamentals of Animal Nutrition*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-9125-9>
- Salinas-Chavira, J., Carlos Gutiérrez-González, J., García-Castillo, R., López-Trujillo, R., & Duarte-Ortuño, A. (2011). DIGESTIBILIDAD IN SITU DE LA MATERIA SECA DE TRES DIETAS PARA OVINOS DE ENGORDA 1. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*, 22(2), 379–385.
- Salinas-Martínez, J. A., Posadas-Domínguez, R. R., Ángeles-Hernández, J. C., Morales-Díaz, L. D., Rebollar-Rebollar, S., Rojo-Rubio, R., & Arriaga-Jordán, C. M. (2022). The economic effects of grazing in small-scale lamb fattening production systems in central México through a scenario analysis. *Tropical Animal Health and Production*, 54(4). <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03240-5>
- Sampath, V., Sureshkumar, S., Seok, W. J., & Kim, I. H. (2023). Role and functions of micro and macro-minerals in swine nutrition: a short review. En *Journal of Animal Science and Technology* (Vol. 65, Número 3, pp. 479–489). Korean Society of Animal Sciences and Technology. <https://doi.org/10.5187/jast.2023.e9>
- SAS Institute Inc. (2012). *SAS Institute Inc.*
- Schofield, P., & Pell, A. N. (1995). Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *Journal of Animal Science*, 73(11), 3455–3463. <https://doi.org/10.2527/1995.73113455x>
- SEDARH. (2023). *Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos* .
- SIAP. (2023). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera* .

- SIAP. (2024, agosto 14). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*.
- Silau, R., & Ploszaj, A. (2009). Silau Roxana y Ploszaj Amalia-AAPA. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 1–28.
- SoltaniNezhad, B., Dayani, O., Khezri, A., & Tahmasbi, R. (2016). Performance and carcass characteristics in fattening lambs feed diets with different levels of pistachio by-products silage with wasted date. *Small Ruminant Research*, 137, 177–182. <https://doi.org/10.1016/J.SMALLRUMRES.2016.03.015>
- Sürmen, Y., & Demirbas, A. (2003). Cofiring of biomass and lignite blends: Resource facilities; Technological and environmental issues. *ENERGY SOURCES*, 3, 175–187.
- Tarazona, A. M., Ceballos, M. C., Naranjo, J. F., & Cuartas, C. A. (2012). Factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad de forrajes en rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25, 473–487.
- Toral, P. G., Monahan, F. J., Hervás, G., Frutos, P., & Moloney, A. P. (2018). Review: Modulating ruminal lipid metabolism to improve the fatty acid composition of meat and milk. challenges and opportunities. En *Animal* (Vol. 12, Número s2, pp. S272–S281). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001994>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Van-Gastelen, S., Antunes-Fernandes, E. C., Hettinga, K. A., Klop, G., Alferink, S. J. J., Hendriks, W. H., & Dijkstra, J. (2015). Enteric methane production, rumen volatile fatty acid concentrations, and milk fatty acid composition in lactating Holstein-Friesian cows fed grass silage- or corn silage-based diets. *Journal of Dairy Science*, 98(3), 1915–1927. <https://doi.org/10.3168/JDS.2014-8552>
- Vargas-Bello-Pérez, E., Díaz, C. A. L., Ruiz-Romero, R. A., Chay-Canul, A. J., Lee-Rangel, H. A., Gonzalez-Ronquillo, M., Ghavipanje, N., & Tajonar, K. (2023). A BRIEF UPDATE ON SHEEP PRODUCTION IN MEXICO: CHALLENGES AND PROSPECTS †. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4872>
- Vázquez-Martínez, I., Jaramillo-Villanueva, J. L., Bustamante-González, A., Vargas-López, S., Calderón-Sánchez, F., Torres-Hernández, G., & Pittroff, W. (2018). STRUCTURE AND TYPOLOGY OF SHEEP PRODUCTION UNITS IN CENTRAL MÉXICO. *AGRICULTURA, SOCIEDAD Y DESARROLLO, ENERO*, 15(1), 85–97.

- Velázquez-Garduño, G., Archundia-Velarde, E., Osorio-Avalos, J., Pedraza-Serrano, J., & Mariezcurrena-Berasain, M.-A. (2024). Caracterización de sistemas de producción ovina en el altiplano central de México. *Abanico Agroforestal*, 6, 1–18. <https://doi.org/10.37114/abaagro/2024.1>
- Waqas, M., & Salman, M. (2024). VITAMINS and MINERALS in POULTRY. *researchgate*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13984263>
- Widodo, S., Shiddieqy, M. I., Wahyono, T., Widiawati, Y., & Muttaqin, Z. (2023). Analysis of Correlation between Nutrient Content, Digestibility, and Gas Production of Forages in Indonesia. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 11(11), 1770-1778. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2023/11.11.1770.1778>
- Zavaleta-De Lucio, E. (s/f). *LOS ÁCIDOS GRASOS VOLATILES, FUENTE DE ENERGÍA EN LOS RUMIANTES*.
- Zhang, X., Chang, J., Yao, X., Wang, J., Zhang, J., Yang, Y., Yang, S., Wang, K., & Ren, H. (2022). Chemical Composition in Kernels of Ten Grafted Pecan (*Carya illinoensis*) Varieties in Southeastern China. *MDPI*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/sci4020025>
- Zhong, H., Zhou, J., Abdelrahman, M., Xu, H., Wu, Z., Cui, L., Ma, Z., Yang, L., & Li, X. (2021). The effect of lignin composition on ruminal fiber fractions degradation from different roughage sources in water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Agriculture (Switzerland)*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/agriculture11101015>

X. ANEXOS

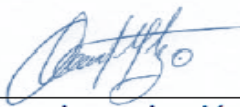
Anexo 1



**Dirección
de Servicios
Académicos**

**Dirección
de Bioterio**



FORMATO DE SOLICITUD AL CICUAL PARA ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN			
DATOS GENERALES:		CÓDIGO DE APROBACIÓN CICUAL CICUAL-V-I/015/2023	
Instituto y área académica a la que pertenece: Instituto de Ciencias Agropecuarias. Medicina Veterinaria y Zootecnia		Fecha de solicitud: 22/08/2023	
Nombre del titular del proyecto: Jesús Armando Salinas Martínez E mail: jesus_salinas11154@uaeh.edu.mx Teléfono: 5513110752		Acepto y conozco los términos y condiciones del CICUAL. 	
Título del proyecto: Optimización nutricional y económica en un sistema de producción de corderos para engorda en el valle de Tulancingo, Hidalgo			
Nombre de los investigadores y estudiantes que participarán.	E - mail:	Teléfono:	Conozco y acepto la información descrita en el protocolo (firma).
Jesús Armando Salinas Martínez	jesus_salinas11154@uaeh.edu.mx	5513110752	
Juan Carlos Ángeles Hernández	juan_angeles@uaeh.edu.mx	7721067438	
Oscar Enrique del Razo Rodríguez	oscare@uaeh.edu.mx	7751113951	
Rodolfo Vieyra Alberto	rodolfo_vieyra@uaeh.edu.mx	5574466742	
Alfonso Longinos Muñoz Benítez	alfonso_munoz@uaeh.edu.mx	7352510031	
Laura Yarely López Echeverría	lo242837@uaeh.edu.mx	7751270309	
Samuel Cerón Cerón	ce308231@uaeh.edu.mx	7752351826	
Duración del uso y cuidado de los animales. Fecha de Inicio: 28 de agosto de 2023 Fecha de término: 31 de marzo de 2024			
Mencione las actividades que comprueben que el investigador principal, investigadores participantes y alumnos que participarán en el desarrollo del proyecto cuentan con <u>experiencia</u> en el manejo, uso y cuidado de los animales de laboratorio, así como el conocimiento actualizado de			

Anexo 2.

Presentación de los avances de investigación titulados: **“DIGESTIBILITY, FERMENTATION PARAMETERS AND SHORT CHAIN FATTY ACIDS PRODUCTION UNDER *IN VITRO* CONDITIONS OF DIETS WITH PECAN SHELLS FOR FATTENING LAMBS”** en el World Buiatrics Congress, 20-24 de mayo de 2024

**WORLD BUIATRICS
CONGRESS 2024**
May, 20-24, 2024
Cancún, Quintana Roo, México

**WORLD
ASSOCIATION
FOR BUIATRICS**
ASSOCIATION MONDIALE DE BUIATRIE
ASSOCIACION MUNDIAL DE BUIATRIA
WELF-GESELLSCHAFT FÜR BUIATRIK


Eduardo Posadas Manzano
President


Miguel Ángel Blanco Ochoa
Secretary


Miguel Ángel Quiroz Martínez
Treasurer


Prof. Arcangelo Gentile
President of the WAB


Javier Hernández Ignacio
President of the AMMVEB



GEN 038-24

1797 - DIGESTIBILITY, FERMENTATION PARAMETERS AND SHORT CHAIN FATTY ACIDS PRODUCTION UNDER IN VITRO CONDITIONS OF DIETS WITH PECAN SHELLS FOR FATTENING LAMBS

Author: SAMUEL CERON CERON, Jesús Armando Salinas Martínez, Oscar Enrique del Razo, Laura Yarely López Echeverría, Aurora Hilda Ramírez Pérez, Juan Carlos Ángeles Hernández, America Monserrath Hernandez Martinez, Juan Manuel Casso Gaspar

Objectives

The aim of this study was to evaluate *in vitro* the dry matter digestibility, parameters of fermentation and short chain fatty acids (SCFA) production of diets formulated with pecan shells for fattening lambs.

Material and methods

This study was carried out in the Animal Nutrition laboratory of the Autonomous University of the State of Hidalgo. Firstly, the pecan shells (Ps) were analyzed (proximal chemical and cell wall-analysis) to formulate four diets (isonergetic, 2,79 Mcal/kg DM; isonitrogenated, 8,8% CP). The feeder lamb diets included on a dry basis increasing amounts of pecan shells: control (Ps0, no pecan shell), 4% (Ps4), 8% (Ps8), and 12% (Ps12). *In vitro* fermentation was conducted using the technique proposed by Theodorou et al. (1994). Rumen fluid was collected from two cattle (450.0 kg BW) with ruminal cannulas (Colegio de Postgraduados, campus Montecillo) managed in accordance with the regulations for the care and use of laboratory animals (NOM-062-ZOO -1999). For *in vitro* incubation, 500 mg of the diets were ground to a 1 mm particle size were placed in a flask with 40 mL of a mixture consisting of 225 mL of buffer solution, 225 mL of macromineral solution, 100 mL of ruminal fluid and 450 mL of distilled water per 1000 mL of mixture. Additionally, 100 µL of a micromineral solution and 2 mL of a reducing solution were added for every 60 mL of mixture. The container was closed and sealed for incubation in a water bath at 39°C. The volume of gas produced was recorded by 72 h of incubation. At the end of the incubation period, the pH of the medium was measured. Then, 0.8 mL of the medium was recovered and 0.2 mL of metaphosphoric acid (25%) was added for the quantification of SCFA by gas chromatography (AutoSystem XL, PerkinElmer Instruments; capillary column, 30 m x 0.53 mm x 1, 0 µm; PN-125-3232, Agilent-Technologies). The working conditions were injection, 1 µL; injector temperature, 190 °C; oven temperature, 80°C, for one minute, increasing by 15°C each minute to 200°C. The kinetics of gas production were analysed using the model proposed by Schofield and Pell (1995):

$$Va = V / (1 + e^{2.4S(t-L)})$$

Where: Va corresponds to the gas volume at time t; V, maximum volume (mL⁻¹g⁻¹ DM); S, gas production rate (h⁻¹); L, lag time (h). The parameters were estimated using the NLIN procedure of SAS® (SAS Institute Inc., 2012) through an iterative non-linear regression process.

Results

The pecan shells (Ps) had higher contents (g⁻¹100gDM) of NDF (62.55±0.16), ADF (58.29±0.19), lignin (18.64±0.07) and ethereal extract (24.97±0.06); but low values of crude protein (5.23±0.37) and IVDMD (7.8±2.2). However, the inclusion of Ps in the diets did not affect (P>0.05) the IVDMD (79.27±6.3), pH (6.62±0.14), nor the S (0.13±0.02) and L (-1.29±0.63) parameters of the gas production kinetics. In contrast, the inclusion of



WORLD
ASSOCIATION
FOR BIOMETRICS

ASSOCIATION MONDIALE DE BIOMETRIE
ASSOCIATION MONDIALE DE BIOMETRIA
WELTGESAMHEIT FÜR BIOMETRIE

pecan shells affected ($P < 0.001$) the V parameter, with the highest value for Ps8 (537.8 $\text{mL}^{-1} \text{g}^{-1} \text{DM}$), followed by Ps12 (498.3 $\text{mL}^{-1} \text{g}^{-1} \text{DM}$). The Ps0 diet had the highest total SCFA production (76.8 mM), while the Ps8 diet had the lowest (69.5 mM). Ps0 had the highest concentrations ($P < 0.05$) of butyrate (10.7 mM), propionate (16.3 mM), isobutyrate (1.68 mM), valerate (2.05 mM) and isovalerate (2.81 mM), while diet Ps8 had the lowest ($P < 0.05$). Acetate production (41.7 ± 0.96) was not affected ($P < 0.05$) by the inclusion of Ps in the diets. The lowest ($P < 0.05$) acetate/propionate and acetate/butyrate ratios were observed for Ps0 (2.66 and 4.03 mM/mM, respectively), contrary the highest values were observed for Ps12 (2.8 and 4.5 mM/mM, respectively).

Conclusions

The results of the present study show that the inclusion of up to 12% pecan shells in the rations of fattening lambs does not affect the DIVMS, pH, L and S parameters of gas production kinetics. However, including 8% Ps decreased total and individual SCFA production, while the acetate/propionate and acetate/butyrate proportions increased with 12% Ps inclusion. Further *in vitro* and *in vivo* studies are needed to determine an optimal level of pecan shell inclusion for lamb finishing diets.

References

- SAS Institute Inc. 2012. SAS/STAT® 12.1 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Schofield, P. and Pell, A.N., 1995. J. Dairy Sci. 78(10): 2230-2238
- Theodorou, M.K. et al. 1994. Anim. Feed Sci. Tech., 48(3-4): 185-197.



1044

Anexo 3

Resumen en el XXII Congreso internacional de ovinocultura “EFFECT OF INCORPORATING WALNUT RESIDUES IN THE DIET OF FATTENING LAMBS ON THEIR PRODUCTIVE PERFORMANCE” realizado en Acapulco los días 23-25 de octubre de 2024

**EFFECTO DE INCORPORAR RESIDUOS DE NUEZ EN LA DIETA DE OVINOS DE
ENGORDA SOBRE SU RENDIMIENTO PRODUCTIVO**
**EFFECT OF INCORPORATING WALNUT RESIDUES IN THE DIET OF FATTENING
LAMBS ON THEIR PRODUCTIVE PERFORMANCE**

Samuel Cerón Cerón¹, Jesús Armando Salinas Martínez¹, Oscar Enrique del Razo Rodríguez¹,
López Echeverría Laura Yarely¹, Ángeles Hernández Juan Carlos²

¹Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo;

²Departamento de Medicina y Zootecnia de Rumiantes, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. Autor de correspondencia:

RESUMEN

El residuo de nuez, subproducto de la industria de repostería en México, surge como alternativa nutritiva en la alimentación de ovinos. México, que es el quinto productor mundial de nuez, genera residuos que podrían usarse para alimentar corderos destinados al engorde. El objetivo es evaluar su viabilidad como fuente energética y reducir los costes de la alimentación animal. El estudio, realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, utilizó 28 corderos F1 (Suffolk-Hampshire) y evaluó dietas con un 0 %, 4 %, 8 % y 12 % de inclusión de residuo de nuez. El diseño experimental consistió en bloques aleatorizados con mediciones repetidas durante 105 días. Los resultados mostraron que el 4 % de inclusión mejoró significativamente el peso final y la ganancia diaria de peso sin afectar negativamente a la conversión alimenticia, mientras que el 12 % de inclusión redujo el peso final y aumentó el consumo de materia seca, lo que sugiere que los niveles más altos pueden perjudicar el rendimiento. Así pues, el residuo de nuez al 4 % es una alternativa prometedora, pero su uso no debe exceder el 12 % de inclusión para evitar efectos adversos en el rendimiento productivo.

Palabras clave: subproducto, ovinos, desempeño productivo.

ABSTRACT

Walnut residue, a by-product of the confectionery industry in Mexico, emerges as a nutritional alternative in sheep feed. Mexico, which is the world's fifth largest producer of walnuts, generates residues that could be used to feed lambs destined for fattening. The objective is to evaluate its viability as an energy source and reduce animal feed costs. The study, conducted at the Animal Nutrition Laboratory of the Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, used 28 F1 lambs (Suffolk-Hampshire) and evaluated diets with 0 %, 4 %, 8 % and 12 % inclusion of walnut residue. The experimental design consisted of randomized blocks with repeated measurements for 105 days. Results showed that 4 % inclusion significantly improved final weight and daily weight gain without negatively affecting feed conversion, while 12 % inclusion reduced final weight and increased dry matter intake, suggesting that higher levels may impair performance. Thus, 4 % walnut residue is a promising alternative, but its use should not exceed 12 % inclusion to avoid adverse effects on productive performance.

Key words: by-product, sheep, productive performance.

INTRODUCCIÓN

En México, la ovinocultura se desarrolla en sistemas intensivo, mixto y extensivo, siendo este último el más prevalente en áreas rurales y clave para la ganadería familiar debido a su rentabilidad (Hernández-Marín, 2017). La alimentación representa más del 70% de los costos en la producción ovina, con el maíz como principal componente de las dietas para engorda (Flórez Delgado, 2018; Nuñez, 2017). La competencia con la alimentación humana y la necesidad de importar granos debido a la insuficiencia del consumo nacional han llevado a explorar alternativas nutricionales (SAGARPA, 2017)

El residuo de nuez, un subproducto de la industria de repostería en México surge como una posible alternativa nutritiva. México, quinto productor mundial de nuez, genera residuos que podrían ser aprovechados en la alimentación de ovinos (Rodríguez Castillo et al., 2017; SIAP, 2022). Este estudio busca evaluar el contenido nutricional del residuo de nuez y su impacto en el rendimiento de corderos de engorda, con el objetivo de determinar su viabilidad como fuente de energía en dietas ovinas y contribuir a la reducción de costos en la alimentación animal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y sitio experimental

Todos los procedimientos efectuados en el presente estudio fueron avalados por Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (CICUAL-V-I/015/2023). El experimento se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal del Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo ubicado en Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. En el presente estudio 14 hembras y 14 machos F1 (Suffolk-Hampshire) con un peso promedio de 24.7 ± 2.52 kg fueron utilizados. El tamaño de muestra fue calculado utilizando el programa G-Power para alcanzar una potencia estadística ($1-\beta$) de 0.9. Previo al inicio de la fase experimental los animales fueron desparasitados (ivermectina; Ivomec F®), vitaminados (Vigantol ADE Forte®) y bacterinizados contra enfermedades clostridiales (EXGON 10 vías®).

Raciones y tratamientos

Los tratamientos fueron cuatro dietas para ovinos de engorda, con niveles de inclusión crecientes de residuos de nuez, las cuales se formularon utilizando el programa Small Ruminant Nutrition System (SRNS). El presente estudio utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizados con mediciones repetidas. Los animales fueron asignados aleatoriamente a uno de los siguientes tratamientos: control (sin cascarilla de nuez), 4 % (4N), 8 % (8N) y 12 % (12N) de inclusión en base seca. Los porcentajes de inclusión de los ingredientes y composición nutricional de las dietas son presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química de las dietas con niveles de inclusión de residuo de nuez.

	Control	4 N	8 N	12 N
Ingredientes (% MS)				
Cascarilla de naranja	16.36	12.73	20.91	18.84
Maíz roado	36.36	35.0	32.55	27.64
Sorgo roado	19.09	19.09	12.73	10.0
Trigo entero	5.45	8.09	5.45	10.9
Residuo de nuez	0.0	3.64	7.28	10.92
Pasta de soya	9.09	9.64	10.18	10.55
Rastrojo de maíz	12.73	10.91	10.00	10.91
Bicarbonato de sodio	0.91	0.91	0.91	0.91
Composición nutricional				
FDN (%)	23.5	23.1	23.4	24.8
Grasa (%)	2.7	3.9	4.9	5.9
PC (%)	12.5	12.5	12.5	12.5
EM (Mcal/kg MS)	3.20	3.20	3.20	3.20

FDN, fibra detergente neutra; PC, proteína cruda; EM, energía metabolizable.

Medicines y análisis

El periodo experimental tuvo una duración de 105 días con 15 días de adaptación previa a la alimentación. Los animales fueron alojados en corraletas individuales con pisos elevados con una fuente de agua y alimentación a libre acceso. El peso vivo fue registrado semanalmente utilizando

báscula digital (Kongsen®) y el consumo de alimento fue calculado restando el peso del alimento rechazado al peso del alimento ofrecido en 24 horas utilizando una báscula digital (Torrey SXE®). Las variables respuesta evaluadas fueron: peso inicial (kg), peso final (kg), ganancia diaria de peso (kg/d), consumo de materia seca (kg/d) y conversión alimenticia (kg/kg).

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de la inclusión de residuos de nuez en las dietas de ovinos en engorda sobre el desempeño productivo un modelo general lineal fue utilizado para las variables peso inicial y peso final. Las variables GDP, CMS y CA fueron evaluadas utilizando un modelo de bloques completamente al azar con mediciones repetidas utilizando como covariable el peso inicial como se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + NU_i + D_{j(i)} + Med_k + (NU*Med)_{ik} + SEX_l + \beta x + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = La variable respuesta (GDP, CMS y CA)

μ = Efecto de la media general

NU_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel de residuo de nuez

$D_{j(i)}$ = Efecto aleatorio de la j-ésimo animal

Med_k = Efecto fijo del tiempo t en el que efectuó la medición

$(NU*Med)_{ik}$ = Efecto fijo de la interacción entre el nivel inclusión de residuo de nuez y el tiempo

βx = Efecto del covariable peso inicial

SEX_l = Efecto de bloque sexo del animal

e_{ijk} = Error experimental

El modelo mixto fue analizando, utilizando el paquete lme en el lenguaje estadístico R.

RESULTADOS

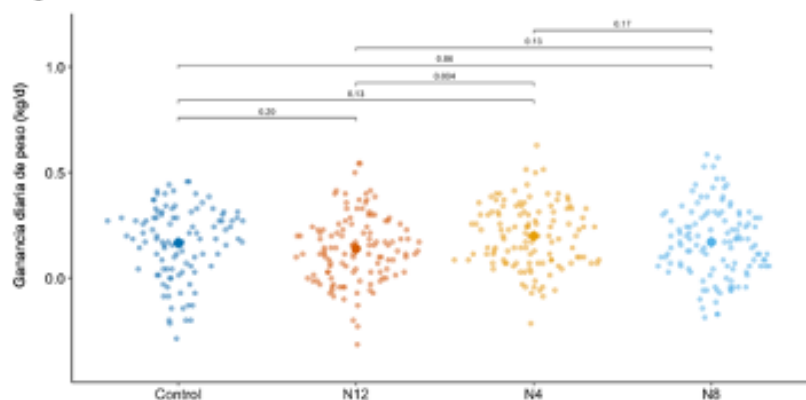
Las medias mínimo-cuadráticas y las pruebas de significancia para evaluar el efecto de la inclusión de residuos de nuez en el desempeño productivo de corderos en engorda se presentan en la Tabla 1. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos respecto al peso inicial (P=0.92), lo que sugiere una asignación equitativa de los animales a cada tratamiento.

Tabla 1. Efecto de la inclusión de cáscara de nuez en el rendimiento productivo de corderos de engorda.

Ítem	Tratamiento					Valor de P		
	Control	4%	8%	12%	E.E.	Tx	Tiempo	Tx*Tiempo
Peso inicial (kg)	24.3	24.4	25.1	24.9	0.89	0.92	-	-
Peso final (kg)	42.5 ^a	45.3 ^a	41.3 ^{ab}	38.5 ^b	1.0	0.02	-	-
Consumo de MS (kg/d)	0.96 ^b	1.13 ^a	1.02 ^{ab}	0.91 ^b	0.04	0.01	0.0001	0.02
Ganancia diaria de peso (kg/d)	0.165 ^{ab}	0.201 ^a	0.171 ^{ab}	0.14 ^b	0.01	0.03	0.001	0.07
Conversión alimenticia (kg/kg)	5.76	6.17	4.87	3.32	1.71	0.61	0.06	0.30

Sin embargo, el peso final fue significativamente mayor (P=0.02) en los animales del tratamiento con 4% de inclusión de residuos de nuez (45.3 kg), mientras que el peso más bajo correspondió a los animales con 12% de inclusión (38.5 kg). Este patrón también se reflejó en la ganancia diaria de peso (GDP), donde el tratamiento con 12% de inclusión mostró los valores más altos (P=0.03) (Figura 1). Además, el consumo de materia seca se vio significativamente afectado (P=0.01), con un incremento notable en los animales alimentados con 12% de inclusión (1.13 kg). En cuanto a la conversión alimenticia, aunque se observaron diferencias numéricas, estas no fueron significativas (P=0.61).

Figura 1. Efecto de la inclusión de residuos de nuez en raciones de ovinos en engorda sobre la ganancia diaria de peso.



DISCUSIÓN

Las diferentes alternativas que se encuentran en el mercado para la alimentación animal, es el uso de subproductos agroindustriales, como lo menciona (A. M. D.-V. J. T. A. P.-C. M. L. Hernández-Alcántara, 2016), son una alternativa muy atractiva por su alta disponibilidad y su bajo costo. Aunque lo mencionado por (Dupis, 2015) demuestra que el mismo subproducto tiene variaciones significativas de acuerdo con el lugar de origen, la época de cultivo y clima. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, muestran que el consumo de materia seca se vio afectado en el tratamiento 12N, esto puede deberse a la cantidad de FDN y la cantidad de grasa contenida en la dieta ofrecida ya que como lo menciona (Arenas, 2010), los altos niveles de inclusión de grasa tiene efectos negativos sobre la digestibilidad de la fibra en el rumen, los cuales están asociados a una baja actividad microbiana por la inhibición de estos microorganismos, principalmente bacterias celulíticas.

CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados de este estudio indican que la inclusión del 4% de residuos de nuez en las dietas de ovinos de engorda puede ser una alternativa eficaz para sustituir ingredientes tradicionales, ya que mejora tanto el consumo de alimento como la ganancia diaria de peso. No obstante, se debe tener cuidado al utilizar este subproducto en niveles del 12%, ya que su inclusión en dichas proporciones puede perjudicar el desempeño productivo de los corderos.

LITERATURA CITADA

- Arenas, F. A., Noguera, R. R., & Restrepo, L. F. (2010). Efecto de diferentes tipos de grasa en dietas para rumiantes sobre la cinética de degradación y fermentación de la materia seca in vitro. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(1), 55-64.
- Dupuis, I. (2015). Evaluación de subproductos agroalimentarios para la alimentación animal en Canarias.
- Flórez Delgado, D. F., Capacho Mogollón, A. E., Quintero Muiño, S. M., & Gamboa Vera, K. Y. (2018). Efecto de la suplementación con ensilaje de naranja sobre la calidad de leche caprina. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 501-506.

Hernández-Alcántara, A. M., Totosa, A., & Pérez-Chabela, M. L. (2016). Evaluation of agro-industrial co-products as source of bioactive compounds: fiber, antioxidants and prebiotic. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 20(2), 3-16

Núñez, O. P. (2017). Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. *Journal of the Selva Andina Animal Science*.

Rodríguez Castillo, J. del C., Moreno Medina, S., Hernández Hernández, J., Robles Robles, M., & Rodríguez Castañeda, E. L. (2017). El indicador CASI en la rentabilidad ovina. *Revista Mexicana de Agronegocios*.
<https://www.redalyc.org/journal/141/14153918010/html/#:text=El%20indicador%20CASI%2C%20busca%20determinar,animales%20que%20consum%C3%ADan%20dicha%20alimentaci%C3%B3n>.

SAGARPA. (2017). MAÍZ GRANO BLANCO Y AMARILLO Mexicano planeación agrícola nacional.

SIAP. (2022). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Panorama Agroalimentario.

Anexo 4Resumen en el 2º encuentro de rumiantes: crecer para avanzar UNAM. “*IN VITRO* EVALUATION OF THE INCLUSION OF WALNUT WASTE IN DIETS OF FATHERING LAMBS ON RUMINAL FERMENTATION PATTERNS” CDMX 6-8 de diciembre del 2023.

EVALUACIÓN *IN VITRO* DE LA INCLUSIÓN DE RESIDUOS DE NUEZ EN DIETAS DE OVINOS DE ENGORDA SOBRE LOS PATRONES DE FERMENTACIÓN RUMINAL
***IN VITRO* EVALUATION OF THE INCLUSION OF WALNUT WASTE IN DIETS OF FATHERING LAMBS ON RUMINAL FERMENTATION PATTERNS**

Samuel Cerón Cerón¹, Jesús Armando Salinas Martínez¹, Oscar Enrique del Razo¹, López Echeverría Laura Yarely¹, Ángel Reyes Cortes¹, Aurora Hilda Ramírez Pérez², Ángeles Hernández Juan Carlos¹

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ICAP, Tulancingo, México.

²Universidad Nacional Autónoma de México, FMVZ, CDMX, México

Correspondencia: juan_angeles@uaeh.edu.mx

Resumen

Los residuos de nuez podrían desempeñar un papel importante como fuente alternativa de energía en las dietas de ovinos. El objetivo de este estudio es evaluar el valor nutricional del residuo nuez y los efectos de su inclusión en diferentes niveles en las raciones de ovinos de engorda sobre los patrones de fermentación ruminal *in vitro*. Para evaluar la composición química y los patrones de fermentación, se han diseñado cuatro dietas balanceadas: una dieta de control (sin cascarilla de nuez) y tres dietas con un 4 % (4N), 8 % (8N) y 12 % (12N) de inclusión de materia seca de residuos de nuez. El residuo de nuez presentó valores bajos de producción de gas (50 ml) y degradabilidad de la materia seca (7.8 %). Se observó un efecto cuadrático de la inclusión de residuos de nuez ($p < 0.05$) sobre el volumen máximo (V), el cual fue más alto en la dieta con un 8 % de inclusión de nuez. La tasa de producción de gas (S) incrementó linealmente con el nivel de inclusión del residuo de nuez. Los resultados de la prueba *in vitro*, los residuos de nuez podrían considerarse una opción viable como fuente de energía en las raciones de ovinos de engorda sin afectar la digestibilidad.

Introducción

Uno de los principales retos que enfrenta el sector agropecuario son los elevados costos de alimentación de los animales. Esta problemática determina la necesidad de explorar alternativas nutricionales tales como la utilización de subproductos de la industria de alimentos y bebidas para consumo humano. En este sentido, los subproductos agroindustriales son una alternativa para reducir el consumo de insumos primarios como el maíz en las raciones de ovinos de engorda. Sin embargo, es importante determinar la composición química y aporte nutricional de estos subproductos en cada especie animal y etapa fisiológica.

De la nuez, la avellana es el componente que se aprovecha durante su industrialización, desechándose la cascarilla con niveles variables de residuos de avellana. Por tal motivo, los residuos de nuez podrían fungir como una fuente alternativa de energía en dietas para ovinos. Actualmente, este subproducto ya es utilizado en raciones de ovinos, principalmente en corderos de engorda. Sin embargo, no se tiene información científica con relación a su contenido nutricional y efecto de su inclusión sobre la fermentación ruminal en ovinos. Por ello, el objetivo del presente estudio es evaluar el contenido nutricional de la cascarilla de nuez y el efecto de su inclusión en niveles crecientes en raciones de ovinos engorda sobre los patrones de fermentación ruminal *in vitro*.

Materiales y métodos

Raciones y tratamientos

Los tratamientos fueron cuatro dietas para ovinos de engorda, con niveles de inclusión crecientes de residuos de nuez, las cuales se formularon utilizando el programa Small Ruminant Nutrition System (SRNS). Los datos con los cuales fue alimentado el programa SRNS fueron los siguientes: edad (3 meses), peso vivo del cordero (23 kg), espesura del vellón (10 mm), producción de vellón (1 kg/año), temperatura ambiental (23 °C), velocidad del viento (4.0 km/h) y precipitación pluvial (4 mm/día). Las dietas obtenidas fueron: control (sin cascarilla de nuez), 4 % (4N), 8 % (8N) y 12 % (12N) de inclusión, en base seca (Tabla 1).

Cuadro 1. Dietas experimentales para ovinos de engorda con niveles de inclusión creciente de residuo de nuez.

Ítem	Control	4N	8N	12N
Ingredientes (% MS)				
Cascarilla de naranja	18.0	19.0	19.1	16.4
Maíz rolado	40.0	31.0	28.6	26.0
Sorgo rolado	21.0	21.0	18.9	21.7
Grano de trigo	6.0	8.9	7.7	4.5
Residuo de nuez	0.0	4.0	8.0	12.0
Pasta de soja	---	6.0	12.0	16.0
Rastrojo de maíz	14.0	14.5	15.5	16.8
Bicarbonato de sodio	1.0	1.0	1.0	1.0
Composición nutrimental				
FDN (%)	24.4	26.3	28.1	30.7
Grasa (%)	2.8	3.4	4.2	5.1
Proteína cruda (%)	8.8	8.8	8.8	8.8
EM (Mcal/kg MS)	2.79	2.79	2.79	2.79

4N = 4 %, 8N = 8 %, 12N = 12 % de residuo de nuez; MS = materia seca; FDN = fibra detergente neutro; EM = energía metabolizable.

Producción de gas *In vitro*

La fermentación *in vitro* se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, utilizando la técnica de producción de gas propuesta por Theodorou *et al.* (1994). El medio de cultivo contenía 225 mL de solución amortiguadora [4 g de NH_4HCO_3 (Meyer®) y 35 g de NaHCO_3 (Meyer®), en 1000 mL], 225 mL de solución macromineral [5.7 g de Na_2HPO_4 (Meyer®), 6.2 g de KH_2PO_4 (Meyer®) y 0.6 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Sigma®), en 1000 mL], 100 mL de líquido ruminal y 450 mL de agua destilada, por cada 1000 mL. Además, se agregaron 100 μL de una solución micromineral y una solución reductora a razón de 2 mL por cada 60 mL del medio. El líquido ruminal se obtuvo de dos bovinos de 450 kg aproximadamente con cánula ruminal propiedad del Colegio de Postgraduados (campus Montecillo) manejados de acuerdo con las directrices de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 (SAGARPA, 2001).

La incubación de aproximadamente 500 mg de sustrato (dietas experimentales) se realizó en biodigestores de vidrio (frascos de 120 mL), inoculando con 40 mL de medio de cultivo y flujo de CO_2 , sellados herméticamente con tapón de silicona y arillo de aluminio, a 39 °C en baño María (Thermo Scientific, 2864, USA), durante 72 h. El volumen de gas se registró con manómetro digital a los siguientes tiempos de incubación: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 horas. Una ecuación de regresión lineal se obtuvo para convertir los valores de presión (psi) a volumen de gas (mL). El volumen de gas de las muestras se corrigió restando el promedio de gas producido por los blancos. Finalmente, se calculó el volumen total de gas acumulado (V_a), el cual fue utilizado para estimar las variables de la cinética de la producción de gas (Schofield y Pell, 1995), mediante el modelo:

$$V_a = V/1 + e^{2-4S(t-L)} \quad (1)$$

En donde: V_a es el volumen de gas al tiempo t ; V es el volumen máximo ($\text{mL g}^{-1} \text{MS}$); S es la tasa de producción de gas (h^{-1}) y L es el tiempo de retardo (h). Estos parámetros fueron estimados mediante un proceso iterativo de regresión no lineal utilizando el procedimiento NLIN de SAS® (SAS Institute Inc., 2012).

Resultados

La composición química del residuo de nuez se muestra en el Cuadro 1. El residuo de nuez tiene un elevado contenido de FDN, FDA, lignina y EE; mientras que su aporte de PB es limitado. El componente principal de la fibra es la celulosa, seguido de la lignina.

Cuadro 2. Composición química del residuo de nuez utilizado en dietas para ovinos de engorda.

Ítem	Media	Desviación estándar
Materia seca	93.16	0.02
Proteína cruda	5.23	0.37
Extracto etéreo	24.97	0.06
Cenizas	2.1	0.05
Fibra cruda	20.66	0.07
Fibra neutro detergente	62.55	0.16
Fibra ácido detergente	58.29	0.19
Celulosa	39.49	0.01
Hemicelulosa	4.26	0.03
Lignina	18.64	0.07
Calcio	0.28	ND
Fosforo	0.12	ND

ND = no determinado.

Los estimadores (media \pm desviación estándar) de los parámetros V , S y L para el residuo de nuez puro fueron $50.2 \pm 10.2 \text{ mL}$, $0.11 \pm 0.16 \text{ mL h}^{-1}$ y $-7.5 \pm 11.9 \text{ h}$, respectivamente. Así mismo, el pH y la DIVMS obtenido para el residuo de nuez fueron de 7 ± 0.4 y $7.8 \pm 2.2 \%$. Por su parte, el análisis de varianza refleja que el nivel de inclusión del residuo de nuez en las dietas experimentales tuvo efecto solamente sobre el parámetro V ($p \leq 0.05$), con un incremento cuadrático de las medias ($p \leq 0.01$), alcanzando su valor máximo con 8 % de inclusión (Cuadro 2). Sin embargo, no se observó correlación entre V y la DIVMS ($p > 0.05$). Con respecto al parámetro S , se observó un incremento lineal de las medias ($p \leq 0.05$) conforme incrementa el nivel de inclusión del residuo en las dietas, aunque no hay diferencias entre tratamientos ($p > 0.05$).

Cuadro 1. Parámetros de la cinética de producción de gas, pH y degradabilidad de la materia seca (DMS), de dietas para ovinos en engorda con niveles de inclusión crecientes de residuo de nuez.

Variable	Tratamiento				EE	Efecto de inclusión	Tendencia	
	C	N4	N8	N12			L	C
V (mL g ⁻¹ MS) ^{1†}	451.6	466.7	537.8	498.3	42.4	**	NS	**
S (mL h ⁻¹) ^{1†}	0.11	0.12	0.14	0.15	0.02	NS	*	NS
L (h)	-0.90	-1.08	-1.43	-1.75	0.63	NS	NS	NS
pH	6.45	6.69	6.68	6.66	0.14	NS	NS	NS
DIVMS (%)	83.2	83.7	71.7	78.5	6.3	NS	NS	NS

NS: no significativo (*p<0.05; **p<0.01); C = control (0 % de inclusión), N4 = 4 %, N8 = 8 % y N12 = 12 % de inclusión de residuo de nuez; EE: Error estándar de la media; V: volumen máximo; S: tasa de producción; L: tiempo de retardo; MS: materia seca; DIVMS = degradabilidad *in vitro* de la MS.

Discusión

La información en la literatura científica sobre la caracterización nutrimental del residuo de nuez es limitada. En nuestro estudio, el contenido elevado de FDN, FDA y lignina encontrados en el residuo de nuez, así como su bajo contenido de proteína, son aspectos congruentes con su baja producción de gas (V = 50 ml) y DIVMS (7.8 %) observadas en la prueba *in vitro*. Por otra parte, el aporte elevado de EE del residuo de nuez, debido a la presencia de remanentes de la almendra, posiciona a este recurso como una fuente de energía importante. La fundación española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA) recomienda un límite máximo de 2 % de grasas poliinsaturadas en dietas para rumiantes o 4 % de grasas saturadas, debido al efecto negativo sobre los microorganismos del rumen. En el mismo sentido, Arenas *et al.* (2010) mencionan que la digestibilidad de la fibra en el rumen se ve comprometida con más de 6 % de grasa en la dieta. En nuestro estudio, la dieta con 8 % de inclusión de residuo de nuez, con 4.2 % de EE, fue la que mayor producción de gas presentó, pero disminuyó al incrementar el nivel de inclusión a 12 %, debido probablemente a los efectos adversos sobre la fermentación microbiana.

Conclusión

Segun los resultados de la prueba *in vitro*, los residuos de nuez podrían considerarse una opción viable como fuente de energía en las raciones de ovinos de engorda, a un nivel de inclusión de 8 %, sin afectar negativamente la fermentación ruminal.

Referencias

- AOAC., 2005. Official methods of analysis of AOAC International.
Arenas, F. A., Noguera, R. R. y Restrepo, L. F. 2010. *Rev. Colomb. Cienc. Pecuaria*. [online]. 23
SAS Institute Inc. 2012. SAS/STAT® 12.1 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
Schofield, P. and Pell, A.N., 1995. *J. Dairy Sci.* 78(10): 2230-2238
Theodorou, M.K. et al. 1994. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 48(3-4): 185-197.
Van Soest P. J. 1990. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 73(4): 491-497.

Modalidad: Poster