



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

T E S I S

“Evaluación comparativa técnico-económica de la sustitución de soya (*Glycine max* L.) por pasta de ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) en parámetros productivos y rentabilidad en ovinos en fase de finalización.”

PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
Licenciatura En Gestión De Negocios Agropecuarios

PRESENTA

Eduardo Gonzalez Moreno

Comité tutorial

Director

Dr. Miguel Paul Conde Hinojosa

Codirector(a) interno(a)

Dr. Jose Vicente Velazquez Morales

ASESORES

Dr. Asael Islas Moreno

M.C.E. Ana Lieseld Guzman Elizalde

TULANCINGO DE BRAVO, HGO. junio 2026

AGRADECIMIENTOS

A mi director Miguel Paul Conde Hinojosa por su buena disposición, sus correcciones y sugerencias al presente.

A cada uno de los profesores de la Licenciatura de Gestión De Negocios Agropecuarios por compartir sus conocimientos, por su confianza y su amistad

A mis padres y hermanos por apoyarme en cada momento para alcanzar mis objetivos y por depositar su confianza en mí.

A Grupo Firme que gracias a sus canciones y sus conciertos me han motivado a redactar mi tesis.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales

Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hgo, a 08 de junio de 2026

Asunto: Incorporación al repositorio de Tesis

DR. JORGE EDUARDO PEÑA ZEPEDA

DIRECTOR DE BIBLIOTECAS Y CENTRO DE INFORMACIÓN

Estimado Dr. Jorge Eduardo Peña Zepeda, por medio de la presente, me permito solicitar respetuosamente la incorporación al repositorio de tesis de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo de la tesis titulada **"Evaluación comparativa técnico-económica de la sustitución de soya (*Glycine max* L.) por pasta de ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) en parámetros productivos y rentabilidad en ovinos en fase de finalización."**, elaborada por **Eduardo González Moreno**, con número de cuenta **356660**, como requisito para obtener el título **Licenciatura en el programa educativo Gestión de Negocios Agropecuarios**

Agradeciendo de antemano su atención y apoyo, quedo a su disposición para cualquier información adicional que se requiera.

Atentamente

"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Asael Islas Moreno

Nombre del coordinador del P.E
Coordinador nombre del P.E.

Eduardo González Moreno

Nombre del alumno
Autor de la tesis



"Amor, Orden y Progreso"

Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775.
Teléfono: 7717172001 Ext. 42173
profe_5566@uaeh.edu.mx



2025



uaeh.edu.mx



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales

Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hgo., a 08 de junio del 2026

Asunto: Autorización de impresión

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Gestión de Negocios Agropecuarios, Eduardo Gonzalez Moreno, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Evaluación comparativa técnico-económica de la sustitución de soya (*Glycine max* L.) por pasta de ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) en parámetros productivos y rentabilidad en ovinos en fase de finalización."** que después de revisarlo en reunión de comité de tesis, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del comité de tesis:

DIRECTOR	Dr. Miguel Paul Conde Hinojosa.
CODIRECTOR	Dr. Jose Vicente Velazquez Morales.
ASESOR	Dr. Asael Islas Moreno.
ASESOR	M.C.E. Ana Liesseld Guzman Elizalde

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"


Dr. Asael Islas Moreno
Coordinador de la carrera en Gestión
de Negocios Agropecuarios

Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775.
Teléfono: 7717172001 Ext. 42173
profe_5566@uaeh.edu.mx



"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

RESUMEN

La ovinocultura en el Altiplano mexicano enfrenta un déficit de producción superior al 40%, impulsado por altos costos alimenticios donde la pasta de soya representa hasta el 75% de los gastos. El estudio propone la pasta de ajonjolí como alternativa nutricional de alto valor proteico (40-50%) para sustituir la soya en corderos Dorper × Katahdin.

OBJETIVO: Evaluar el efecto técnico-económico de la sustitución de pasta de soya por pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) como fuente proteica en dietas para corderos Dorper × Katahdin en fase de finalización, sobre los parámetros productivos y la rentabilidad.

RESULTADOS: Los resultados económicos mostraron diferencias importantes entre tratamientos a favor de la dieta con pasta de ajonjolí. El costo de alimentación por kilogramo de ganancia de peso fue de \$27.49 para T1 y \$23.09 para T2, lo que representa una reducción del 16.0% en favor del T2. La relación beneficio: costo fue de 4.90 para T1 y 5.53 para T2, indicando una mayor rentabilidad económica del tratamiento con pasta de ajonjolí a pesar de una ligera reducción numérica en el peso final comercial.

CONCLUSIONES: Equivalencia productiva entre tratamientos, comportamiento ponderal a lo largo del período experimental, ventaja económica significativa de la pasta de ajonjolí, contribución a la sostenibilidad y soberanía alimentaria, recomendación técnica para los productores, perspectivas para futuras investigaciones y realizar análisis de sensibilidad económica ante variaciones en el diferencial de precios entre ambas fuentes proteicas, a fin de establecer umbrales de rentabilidad aplicables en diferentes escenarios de mercado.

PALABRAS CLAVE: Ovinocultura, pasta de ajonjolí, rentabilidad, pasta de soya, parámetros productivos y conversión alimenticia.

ABSTRACT

Sheep farming in the Mexican Highlands faces a production deficit exceeding 40%, driven by high feed costs where soybean meal accounts for up to 75% of expenses. This study proposes sesame meal as a high-protein nutritional alternative (40-50%) to replace soybean meal in Dorper × Katahdin lambs.

OBJECTIVE: To evaluate the technical and economic effect of replacing soybean meal with sesame meal (*Sesamum indicum* L.) as a protein source in diets for finishing Dorper × Katahdin lambs on productive parameters and profitability.

RESULTS: Economic outcomes showed major differences between treatments in favor of the sesame meal diet. The feed cost per kilogram of weight gain was \$27.49 for T1 and \$23.09 for T2, representing a 16.0% reduction in favor of T2. The benefit-cost ratio was 4.90 for T1 and 5.53 for T2, indicating greater economic profitability for the sesame meal treatment despite a slight numerical reduction in final market weight.

CONCLUSIONS: Productive equivalence between treatments, steady weight performance throughout the experimental period, significant economic advantage of sesame meal, contribution to sustainability and food sovereignty, technical recommendation for producers, perspectives for future research, and conducting economic sensitivity analyses against variations in the price differential between both protein sources to establish profitability thresholds applicable in different market scenarios.

KEYWORDS: Sheep farming, sesame meal profitability, soybean meal, productive parameters, feed conversion ratio.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. MARCO TEÓRICO	6
4.1 ORIGEN Y DOMESTICACIÓN DEL OVINO DOMÉSTICO	6
4.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN OVINA EN MÉXICO	6
4.3 RAZAS OVINAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO: DORPER Y KATAHDIN	8
4.3.1 Raza Dorper	8
4.3.2 Raza Katahdin	8
4.4 NUTRICIÓN DE OVINOS EN FASE DE FINALIZACIÓN	8
4.5 PASTA DE SOYA COMO FUENTE PROTEICA CONVENCIONAL	9
4.6 PASTA DE AJONJOLÍ: COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO	10
4.7 ANTECEDENTES DEL USO DE PASTA DE AJONJOLÍ EN DIETAS PARA RUMIANTES	12
4.8 PRODUCCIÓN NACIONAL DE AJONJOLÍ Y DISPONIBILIDAD DE LA PASTA	13
5. MATERIALES Y MÉTODOS	13
5.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL	14
5.2 ANIMALES EXPERIMENTALES Y MANEJO PROFILÁCTICO	14
5.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS	14
5.4 COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES	15
5.5 VARIABLES PRODUCTIVAS EVALUADAS	16
5.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
6. RESULTADOS	18
6.1 PESO VIVO SEMANAL Y COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO	18
6.2 VARIABLES PRODUCTIVAS	19
6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO	19
6.4 ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO (CUADRO 6)	20
6.5 COSTO DE LA FUENTE PROTEICA Y COSTO TOTAL DE LA DIETA	22
6.6 COSTO DE ALIMENTACIÓN POR KILOGRAMO DE GANANCIA DE PESO	22
6.7 INGRESOS, MARGEN BRUTO Y RELACIÓN BENEFICIO:COSTO	23
7. DISCUSIÓN	24
7.1 PESO VIVO Y GANANCIA DIARIA DE PESO	24
7.2 CONSUMO DE MATERIA SECA Y CONVERSIÓN ALIMENTICIA	25
7.3 EFICIENCIA ECONÓMICA DE LA SUSTITUCIÓN	25
7.4 REPERCUSIONES PARA LA PRODUCCIÓN OVINA EN MÉXICO	26
8. CONCLUSIONES	28
8.1 EQUIVALENCIA PRODUCTIVA ENTRE TRATAMIENTOS	28
8.2 COMPORTAMIENTO PONDERAL A LO LARGO DEL PERÍODO EXPERIMENTAL	28
8.3 VENTAJA ECONÓMICA SIGNIFICATIVA DE LA PASTA DE AJONJOLÍ	28

8.4 CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD Y SOBERANÍA ALIMENTARIA.....	29
8.5 RECOMENDACIÓN TÉCNICA PARA LOS PRODUCTORES	29
8.6 PERSPECTIVAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.....	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1. INTRODUCCIÓN

La ovinocultura es una de las actividades ganaderas con mayor arraigo histórico y socioeconómico en México, especialmente en la región del Altiplano Central. Su notabilidad trasciende el plano productivo: la carne ovina, consumida predominantemente en forma de barbacoa, constituye parte esencial del patrimonio gastronómico y cultural de estados como Hidalgo, Estado de México, Querétaro, Tlaxcala y Ciudad de México (**Tello-Salgado et al., 2014**). Este vínculo cultural ha sostenido una demanda interna progresiva que, sin embargo, supera la producción nacional.

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (**SIAP, 2022**), México produce aproximadamente 57,000 toneladas anuales de carne ovina en canal, mientras que la demanda supera las 110,000 toneladas, lo que genera un déficit superior al 40% que se cubre mediante importaciones provenientes principalmente de Australia y Nueva Zelanda. Esta dependencia del mercado externo constituye una vulnerabilidad para la seguridad alimentaria del país y limita la rentabilidad de los productores nacionales.

Uno de los principales factores que impide la expansión y rentabilidad de los sistemas ovinos intensivos en México es el elevado costo de la alimentación, que puede representar entre el 65 y el 75% de los costos totales de **producción (Becerril-Herrera et al., 2009)**. La proteína es (dentro de los nutrientes) el componente más costoso de cualquier ración para rumiantes en engorda, y la pasta de soya (*Glycine max* L.) ha sido históricamente la fuente proteica de referencia en su formulación. No obstante, los precios internacionales de la pasta de soya han mostrado una tendencia alcista sostenida durante los últimos años, agravada por el hecho de que México importa más del 95% del grano de soya que consume, exponiéndose a la volatilidad cambiaria y a los ciclos de producción de los principales países exportadores como Brasil, Argentina y Estados Unidos (**FAO, 2020; USDA, 2022**).

En este contexto, la búsqueda de fuentes proteicas alternativas, de menor costo y alta disponibilidad regional, se ha convertido en una prioridad de investigación en nutrición de rumiantes. La pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), subproducto

derivado de la extracción del aceite de sésamo, constituye una opción tecnológicamente viable: contiene entre 40 y 50% de proteína cruda en base seca, con una fracción proteica degradable en el rumen del orden del 65-70% y un perfil de aminoácidos rico en metionina y cistina (**Salunkhe et al., 1992; Aguilera et al., 2018**). Además, su contenido de extracto etéreo (5-8%) aporta energía adicional a la dieta, y su riqueza en calcio (1.5-2.0%) puede contribuir a cubrir los requerimientos minerales de los corderos en engorda (**NRC, 2007**).

Aunque la pasta de ajonjolí ha sido evaluada en aves, cerdos y bovinos con resultados favorables (**Stein et al., 2006; Al-Haidary et al., 2019**), su uso en dietas para ovinos en fase de finalización bajo condiciones de producción del Altiplano mexicano ha sido escasamente documentado. El presente estudio se desarrolla precisamente en esta brecha del conocimiento, evaluando el efecto técnico y económico de la sustitución total de la pasta de soya por pasta de ajonjolí sobre los parámetros productivos y la rentabilidad de corderos Dorper × Katahdin en finalización, dentro del módulo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo.

Los resultados de esta investigación tienen el potencial de orientar decisiones de manejo nutricional en los sistemas de producción ovina de la región central del país, donde el costo de los insumos proteicos es uno de los principales obstáculos para la competitividad sectorial.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto técnico-económico de la sustitución de pasta de soya por pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) como fuente proteica en dietas para corderos Dorper × Katahdin en fase de finalización, sobre los parámetros productivos y la rentabilidad.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar el peso vivo semanal, la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo de materia seca (CMS) y la conversión alimenticia (CA) de corderos alimentados con pasta de soya versus pasta de ajonjolí durante diez semanas de engorda.
- Determinar el costo de alimentación por kilogramo de ganancia de peso y la relación beneficio-costos (B:C) de ambos tratamientos, utilizando precios de mercado regionales.
- Establecer si la pasta de ajonjolí puede sustituir a la pasta de soya sin comprometer el desempeño productivo, como base para recomendar su uso a los productores ovinos del Altiplano Central de México.

3. JUSTIFICACIÓN

La producción ovina en México enfrenta un déficit estructural persistente entre oferta y demanda de carne que, de acuerdo con datos del **SIAP (2022)**, supera el 40% del consumo interno. Este escenario representa tanto una limitación para la seguridad alimentaria nacional como una oportunidad de negocio para los productores que logren incrementar su eficiencia productiva. Sin embargo, la rentabilidad del sector se ve seriamente comprometida por el alto costo de la alimentación, que concentra entre el 65 y el 75% de los costos totales de producción en sistemas de estabulación (**Becerril-Herrera et al., 2009**).

La pasta de soya ha sido la fuente proteica dominante en la formulación de dietas para ovinos en engorda debido a su alto contenido de proteína cruda (44-48%), su perfil de aminoácidos y su amplia disponibilidad en el mercado nacional. No obstante, su precio ha aumentado significativamente en los últimos años: entre 2020 y 2022 el precio de importación de la pasta de soya en México se incrementó en más del 60%, como consecuencia de disrupciones en la cadena de suministro global, la depreciación del peso y el incremento en los costos de flete marítimo (**USDA, 2022; FAO, 2020**). Este encarecimiento impacta directamente sobre los márgenes de ganancia de los productores de carne ovina, para quienes el reemplazo por fuentes proteicas más accesibles es una estrategia de subsistencia económica.

En este marco, la pasta de ajonjolí ofrece una serie de ventajas que justifican su evaluación como sustituto proteico. Desde el punto de vista nutricional, su contenido de proteína cruda oscila entre el 40 y el 50% en base seca (**Salunkhe et al., 1992**), comparable con el de la pasta de soya de 44%, con la ventaja adicional de un mayor contenido de metionina, aminoácido limitante en dietas basadas exclusivamente en proteínas vegetales para rumiantes (**Shahidi et al., 2006**). Su extracto etéreo (5-8%) contribuye a la densidad energética de la ración, y su contenido de calcio (1.5-2.0%) puede reducir la necesidad de suplementación mineral (**NRC, 2007**). **Aguilera et al. (2018)** reportaron que la inclusión de hasta 15% de pasta de ajonjolí en dietas de

corderos mantuvo una digestibilidad de materia seca superior al 50%, sin efectos adversos sobre el balance de nitrógeno.

Desde la perspectiva económica, el precio de mercado de la pasta de ajonjolí en México es inferior al de la pasta de soya, con diferenciales que fluctúan entre el 20 y el 40% dependiendo de la temporada y la región (datos de mercado, Texcoco 2023). Dado que la fracción proteica representa entre el 25 y el 30% del costo total de la dieta en sistemas intensivos, una reducción de ese orden en el costo del ingrediente proteico puede mejorar significativamente la relación beneficio-costos global del sistema. **Mohamed et al. (2021)** demostraron reducciones de hasta el 18% en el costo de alimentación por kilogramo de ganancia de peso al sustituir soya por pasta de ajonjolí en corderos Barki, sin deterioro productivo.

Desde un enfoque de sostenibilidad, la utilización de pasta de ajonjolí responde al principio de economía circular al aprovechar un subproducto de la industria aceitera que, de otro modo, tendría un valor comercial limitado. Además, el fomento de la producción nacional de ajonjolí que se concentra en Guerrero, Michoacán y Sinaloa (**SIAP, 2022**) contribuiría a fortalecer las cadenas de valor agroindustriales locales y a reducir la dependencia de insumos importados, en línea con los objetivos de la política de soberanía alimentaria del gobierno mexicano (**DOF, 2020**).

A pesar de las ventajas señaladas, la información disponible sobre el uso de pasta de ajonjolí en dietas para ovinos en condiciones representativas del Altiplano Central de México es escasa. La mayoría de los estudios publicados provienen de países con sistemas de producción muy diferentes al mexicano (Barki en Egipto, Awassi en Arabia Saudita), lo que limita la aplicabilidad directa de sus resultados. La presente investigación, realizada con razas adaptadas a las condiciones del país (Dorper × Katahdin) y en una unidad experimental representativa, genera información directamente aplicable por los productores de la región.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Origen y domesticación del ovino doméstico

El ovino doméstico (*Ovis aries* L.) descende principalmente del muflón asiático (*Ovis orientalis*), especie originaria de las regiones montañosas de Asia Occidental (actuales Irán, Irak y Turquía), donde su domesticación ocurrió hace aproximadamente 10,000 años durante el período Neolítico **(Zeder, 2008)**. Evidencias arqueológicas recuperadas en sitios del Creciente Fértil confirman que el ovino fue uno de los primeros herbívoros domesticados por el ser humano, seleccionado inicialmente por su carne y su piel, y posteriormente por su lana y su leche **(Chessa et al., 2009)**. A partir de ese centro de origen, la especie se dispersó a través del continente euroasiático y, con la expansión colonial europea, llegó a América en el siglo XVI.

En México, la introducción de ovinos se inició durante la Conquista española (1521-1525), con la llegada de razas de origen ibérico como la Churra y la Merina. Estas razas se adaptaron progresivamente a las diversas condiciones agroecológicas del territorio nacional y, con el tiempo, dieron origen a ecotipos locales como el Criollo Mejorado y el Chiapas **(Tello-Salgado et al., 2014)**. A lo largo del siglo XX y principios del XXI, la introducción programada de razas especializadas en la producción de carne (particularmente Dorper, Katahdin, Suffolk y Pelibuey) transformó el perfil productivo del sector ovino nacional, orientándolo hacia la producción de carne con mayor velocidad de crecimiento y mejor conformación de canal **(González-Garduño et al., 2011)**.

4.2 Situación actual de la producción ovina en México

México contaba en 2022 con un inventario ovino de aproximadamente 9.2 millones de cabezas distribuidas en todo el territorio nacional, con las mayores concentraciones en el Estado de México, Hidalgo, Zacatecas, San Luis Potosí y Veracruz **(SIAP, 2022)**. La producción nacional de carne ovina en canal asciende a cerca de 57,000 toneladas anuales, volumen que resulta insuficiente para satisfacer una demanda interna

estimada en más de 110,000 toneladas, lo que obliga al país a importar el excedente principalmente de Australia y Nueva Zelanda **(FAO, 2020)**.

Hidalgo ocupa el segundo lugar nacional en producción de ganado ovino y es el principal proveedor de carne ovina para la Ciudad de México **(SIAP, 2022)**. La ovinocultura hidalguense está dominada por pequeños y medianos productores que operan bajo sistemas semi-intensivos e intensivos, con una marcada especialización en la producción de barbacoa (denominación que en esta región se otorga a la carne de ovino cocida en hoyo de tierra) la cual constituye un referente gastronómico de identidad regional con denominación de origen en proceso de consolidación **(Tello-Salgado et al., 2014; SADER, 2020)**.

Los principales sistemas de producción ovina en México pueden clasificarse en tres grandes categorías: (1) extensivo, basado en el pastoreo de agostadero con mínima suplementación; (2) semi-intensivo, que combina pastoreo con suplementación estratégica en corrales; y (3) intensivo o de estabulación completa, orientado a la engorda de corderos con dietas formuladas y control ambiental. Este último sistema, aunque representa la menor proporción de unidades productivas, genera una fracción creciente de la carne ovina comercializada en los mercados urbanos del centro del país **(Becerril-Herrera et al., 2009)**. A continuación, en el siguiente cuadro hace referencia al inventario de ovino y producción de carne en los principales estados productores de México.

Cuadro 1. Inventario ovino y producción de carne por principales estados productores en México (2022)

Estado	Inventario / Posición
Hidalgo	1,050,000 cab. / 2° lugar nacional
Estado de México	1,350,000 cab. / 1° lugar nacional
Zacatecas	720,000 cab. / 3° lugar nacional
San Luis Potosí	610,000 cab.
Veracruz	580,000 cab.
Resto del país	4,890,000 cab.

4.3 Razas ovinas utilizadas en el estudio: Dorper y Katahdin

4.3.1 Raza Dorper

La raza Dorper fue desarrollada en Sudáfrica a mediados del siglo XX mediante el cruzamiento de carneros Blackhead Persian con ovejas Dorset Horn, con el objetivo de obtener un genotipo de alta productividad cárnica adaptado a condiciones áridas y semiáridas (Cloete et al., 2000). Sus características más destacadas incluyen una alta tasa de crecimiento (ganancias de 300-400 g/día en condiciones óptimas de alimentación), buena conformación muscular, precocidad sexual, mantenimiento de la ciclicidad reproductiva durante todo el año y una notable tolerancia al calor y a la escasez de forraje. Su piel no produce lana significativa, lo que elimina los costos de esquila y simplifica el manejo del rebaño. En México, la raza Dorper ha ganado una presencia creciente en los sistemas de engorda intensiva del Altiplano y del trópico, especialmente en cruzamientos con razas locales (González-Garduño et al., 2011).

4.3.2 Raza Katahdin

La raza Katahdin fue desarrollada en el estado de Maine, Estados Unidos, a partir de cruces entre ovejas St. Croix de las Islas Vírgenes con razas de lana como la Suffolk y la Wiltshire Horn (Wildeus, 1997). Al igual que el Dorper, es una raza de pelo, sin lana, adaptada a climas templados y tropicales, con alta resistencia a parásitos gastrointestinales —característica de especial valor en sistemas sin acceso a tratamientos antiparasitarios frecuentes—. Sus ganancias de peso bajo condiciones de estabulación oscilan entre 250 y 350 g/día, con conversiones alimenticias de 4.5 a 6.0 kg de MS consumida por kg de peso ganado (NRC, 2007). En México, el cruzamiento Dorper × Katahdin ha sido ampliamente adoptado por productores del Altiplano Central por combinar la robustez y velocidad de crecimiento del primero con la adaptabilidad climática y resistencia parasitaria del segundo.

4.4 Nutrición de ovinos en fase de finalización

La fase de finalización corresponde al período comprendido entre el destete tardío y el sacrificio comercial del cordero, durante el cual el objetivo zootécnico es maximizar la ganancia diaria de peso y la eficiencia de conversión alimenticia, preservando la calidad de la canal. Durante esta etapa, los requerimientos nutricionales del cordero se incrementan significativamente respecto a la fase de crecimiento inicial: para machos de razas de carne en finalización con pesos de 20 a 45 kg, el NRC (2007) recomienda un aporte de proteína metabolizable de 185-230 g/día, una energía metabolizable de 2.5-3.0 Mcal/kg MS y un consumo de materia seca equivalente al 3-4% del peso vivo.

La proteína es el nutriente más costoso y fisiológicamente determinante en las dietas de finalización. Su función es proveer aminoácidos para la síntesis muscular y para el mantenimiento de las funciones corporales, mediante dos mecanismos: la proteína degradable en el rumen (PDR), que alimenta el microbiota ruminal y favorece la fermentación de los carbohidratos estructurales, y la proteína no degradable en el rumen (PNDR), que escapa a la fermentación y llega directamente al intestino delgado para su absorción como aminoácidos individuales (**Satter y Slyter, 1974; NRC, 2007**). El balance adecuado entre PDR y PNDR es importante para facilitar el flujo de proteína metabolizable hacia los tejidos musculares del cordero en engorda.

La conversión alimenticia (CA); expresada como kilogramos de materia seca consumida por kilogramo de peso ganado, es el indicador de eficiencia más utilizado en los sistemas de engorda intensiva. En razas de doble propósito, valores de CA entre 4.0 y 6.0 se consideran aceptables para la fase de finalización bajo condiciones de estabulación, aunque este rango varía en función del genotipo, el sexo, la edad al inicio de la engorda y la densidad energética de la ración (**González-Garduño et al., 2011**).

4.5 Pasta de soya como fuente proteica convencional

La pasta de soya (*Glycine max* L.) es el subproducto sólido obtenido tras la extracción del aceite del grano de soya mediante solvente hexánico. Es la fuente de proteína vegetal más utilizada en la alimentación animal a nivel mundial, con una producción

global superior a los 250 millones de toneladas anuales (FAO, 2020). Su amplia adopción en la formulación de dietas para rumiantes se sustenta en las siguientes características (NRC, 2007; Sauvant et al., 2004): (1) alto contenido de proteína cruda, que oscila entre el 44% y el 48% en base seca; (2) digestibilidad intestinal de la proteína superior al 85%; (3) perfil de aminoácidos relativamente equilibrado, con alta concentración de lisina; (4) bajo contenido de fibra detergente neutra (FDN < 12%), lo que favorece la palatabilidad y el consumo voluntario; y (5) energía metabolizable de 2.9-3.1 Mcal/kg MS.

Sin embargo, la pasta de soya presenta factores antinutricionales que deben considerarse al formular dietas para rumiantes. Entre ellos destacan los inhibidores de proteasas (principalmente el inhibidor de Kunitz), las lectinas, el ácido fítico y los isoflavones estrogénicos. En rumiantes adultos, el ambiente ruminal degrada una fracción importante de estos compuestos antes de que alcancen el intestino delgado, lo que reduce su impacto negativo respecto a las aves o los cerdos (**Church, 2004**). No obstante, en corderos jóvenes con rumen aún en desarrollo, la presencia de estos inhibidores puede comprometer parcialmente la eficiencia digestiva (**Gatel, 1994**).

Desde la perspectiva económica, el precio de la pasta de soya en México está determinado en gran medida por el mercado internacional del grano de soya, del cual México importa más del 95% de su consumo. Esto hace que el costo de este ingrediente sea altamente dependiente del tipo de cambio peso-dólar, del precio internacional de los futuros de soya en la Bolsa de Chicago y de los costos de flete y almacenamiento (USDA, 2022). La alta exposición a estos factores externos hace indispensable contar con fuentes proteicas alternativas de origen nacional.

4.6 Pasta de ajonjolí: composición química y valor nutritivo

El ajonjolí o sésamo (*Sesamum indicum* L.) es una planta oleaginosa de origen africano e indio, cultivada desde hace más de 5,000 años por sus semillas ricas en aceite (50-55%) y proteína (17-25% en grano entero). La pasta de ajonjolí (también denominada

torta o harina de sésamo) es el residuo sólido que queda tras la extracción del aceite por prensado mecánico o por solvente, y puede alcanzar contenidos de proteína cruda de 40 a 50% en base seca dependiendo del método de extracción empleado (Salunkhe et al., 1992).

Cuadro 2. Composición química proximal de la pasta de ajonjolí y de la pasta de soya en base seca

Nutriente	Pasta de ajonjolí	Pasta de soya
Proteína cruda (%)	40–50	44–48
Extracto etéreo (%)	5–8	1–3
Fibra detergente neutra (%)	22–28	9–12
Fibra detergente ácida (%)	14–18	6–8
Calcio (%)	1.5–2.0	0.3–0.4
Fósforo (%)	0.7–0.9	0.6–0.7
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2.7–3.0	2.9–3.1
Metionina (% PC)	2.8–3.2	1.4–1.6
Lisina (% PC)	2.5–2.9	6.0–6.5

Fuente: Elaborado con base en Salunkhe et al. (1992), Sauvant et al. (2004), NRC (2007) y Aguilera et al. (2018).

Una característica diferenciadora de la pasta de ajonjolí con respecto a otras fuentes proteicas vegetales es su elevado contenido de metionina (2.8-3.2% de la PC), este aminoácido esencial en rumiantes, tiene un papel limitante en la síntesis de proteína en tejidos musculares y en la producción de leche (Shahidi et al., 2006). Por el contrario, su concentración de lisina es inferior a la de la soya, lo que puede ser relevante al formular dietas para corderos muy jóvenes o de alto potencial genético de crecimiento; sin embargo, en rumiantes la síntesis de proteína microbiana ruminal compensa parcialmente las deficiencias de aminoácidos individuales de los ingredientes (NRC, 2007).

El principal factor antinutricional de la pasta de ajonjolí es el ácido fítico (fitato), que forma complejos con minerales como zinc, hierro y fósforo, reduciendo su biodisponibilidad. Su contenido en fitatos oscila entre 2.5% y 4.0% del peso seco (Gatel, 1994). En rumiantes, la fitasa producida por los microorganismos ruminales puede hidrolizar una fracción importante de los fitatos antes de que el alimento llegue al duodeno, lo que atenúa el efecto antinutricional (Church, 2004). Otro compuesto a considerar es el sesamol (3,4-metilendioxifenol), un antioxidante natural que protege los lípidos de la pasta frente a la oxidación y que puede ejercer efectos inmunomoduladores favorables en el animal consumidor (Shahidi et al., 2006).

4.7 Antecedentes del uso de pasta de ajonjolí en dietas para rumiantes

Los estudios publicados sobre la utilización de pasta de ajonjolí en dietas para ovinos son relativamente escasos, pero consistentes en sus conclusiones principales. Al-Haidary et al. (2019) evaluaron la sustitución parcial de la pasta de soya (7.5% y 15% de inclusión de pasta de ajonjolí en la MS) en ovejas Awassi lactantes y no encontraron diferencias significativas en la digestibilidad de materia seca, materia orgánica, proteína cruda ni fibra detergente neutra entre tratamientos, lo que indica que el rumen de los ovinos puede aprovechar eficientemente la proteína de la pasta de ajonjolí. Mohamed et al. (2021), en un experimento con corderos Barki en Egipto, demostraron que la sustitución del 100% de la soya por pasta de ajonjolí mantuvo la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia en niveles estadísticamente equivalentes al control, con una reducción del costo de alimentación por kilogramo de peso ganado del orden del 18%.

Aguilera et al. (2018) determinaron que la digestibilidad de la materia seca en corderos alimentados con 15% de pasta de ajonjolí en la dieta fue de 53.4%, valor 10% inferior al registrado con dietas basadas en pasta de soya, diferencia atribuida al mayor contenido de FDN y lignina de la pasta de ajonjolí. No obstante, los autores señalaron que dicha diferencia en digestibilidad no se tradujo en diferencias significativas en la ganancia de peso ni en la eficiencia alimenticia, sugiriendo que el cordero puede compensar una menor digestibilidad mediante ajustes en el consumo voluntario.

En bovinos, los resultados también han sido favorables. Flores-Aguirre (2007) reportó que toretes Pardo Suizo-Cebú alimentados con dietas que incluían hasta 15% de pasta de ajonjolí no mostraron diferencias en el consumo de materia seca ni en la ganancia de peso respecto al control con soya, aunque la conversión alimenticia fue numéricamente mejor con la dieta alternativa. Estos antecedentes sostienen la hipótesis de que la pasta de ajonjolí puede funcionar como sustituto eficiente de la pasta de soya en sistemas de engorda de rumiantes menores bajo condiciones de estabulación.

4.8 Producción nacional de ajonjolí y disponibilidad de la pasta

México es un productor histórico de ajonjolí, con superficie cosechada que ha oscilado entre 20,000 y 35,000 hectáreas durante la última década. Los estados con mayor producción son Guerrero (responsable del 70-80% del volumen nacional), Michoacán, Nayarit y Sinaloa, con rendimientos que van de 0.4 a 0.9 t/ha dependiendo del sistema de producción (SIAP, 2022). La producción nacional de semilla se destina principalmente a la exportación (Japón, Corea del Sur y Estados Unidos son los principales compradores), mientras que la pasta residual del proceso de extracción de aceite se comercializa en el mercado interno para la industria de alimentos balanceados.

La disponibilidad de pasta de ajonjolí como subproducto agroindustrial en México depende del grado de industrialización del cultivo, el cual aún es limitado: gran parte de la semilla se exporta sin procesar. Sin embargo, la creciente demanda internacional de aceite de ajonjolí ha impulsado la instalación de extractoras en los principales estados productores, lo que está ampliando la oferta interna de pasta (SIAP, 2022). El precio de mercado de la pasta de ajonjolí ha sido sistemáticamente inferior al de la pasta de soya, con diferenciales de entre el 20 y el 40%, lo que la convierte en una opción económicamente atractiva para los productores ovinos del Altiplano Central que tienen acceso a esta fuente regional.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización y descripción del sitio experimental

El presente estudio se llevó a cabo en el Módulo Experimental de Ovinos y Caprinos de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), ubicada en el municipio de Texcoco, Estado de México (km 38.5 de la Carretera Federal México-Texcoco; 19°29'05" N, 98°53'22" O; altitud: 2,250 msnm). El clima de la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación media anual de 636 mm (**García, 1988**). Las instalaciones cuentan con corrales techados, comederos individuales y bebederos automáticos.

5.2 Animales experimentales y manejo profiláctico

Se utilizaron 28 corderos machos enteros cruza de Dorper × Katahdin, con un peso vivo inicial promedio de 17.8 ± 1.5 kg y una edad aproximada de 3.5 ± 0.4 meses. Previo al inicio del experimento, todos los animales fueron sometidos a un período de adaptación de 15 días durante el cual recibieron una dieta de transición. El manejo profiláctico consistió en desparasitación con Ivermectina al 1% (1 ml por 50 kg PV, vía subcutánea), vitaminas ADE + B12 (Parmisol-ADE®, 1 ml por 20 kg PV, vía intramuscular) y vacunación con bacterina polivalente. Los procedimientos experimentales fueron realizados de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 y la Ley Federal de Sanidad Animal de México (**SADER, 2017**).

5.3 Diseño experimental y tratamientos

Los 28 corderos fueron distribuidos aleatoriamente en dos tratamientos de 14 animales cada uno, bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA). Los tratamientos evaluados fueron:

T1 (Control): Dieta con pasta de soya (*Glycine max* L.) como principal fuente de proteína (20% de inclusión).

T2 (Tratamiento): Dieta con pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) como principal fuente de proteína (15% de inclusión), sustituyendo al 100% la pasta de soya.

Ambas dietas fueron formuladas de manera isoproteica e isoenergética, para cubrir los requerimientos nutricionales de corderos en finalización de acuerdo con el

NRC (2007), con un contenido de proteína cruda (PC) de 15% y energía metabolizable (EM) de 2.8 Mcal/kg de materia seca (MS). Las dietas fueron ofrecidas ad libitum dos veces al día (08:00 y 16:00 h, 50% en cada comida), y se suministró heno de alfalfa de manera libre para garantizar el aporte de fibra. El agua estuvo disponible en todo momento.

5.4 Composición de las dietas experimentales

En el Cuadro 3 se presenta la composición porcentual de las dos dietas experimentales empleadas en el estudio.

Cuadro 3. Composición porcentual de las dietas experimentales para corderos Dorper × Katahdin en fase de finalización

Ingrediente	T1 – Soya (kg/100 kg)	T2 – Ajonjolí (kg/100 kg)
Maíz molido	60	60
Pasta de soya (Glycine max)	20	—
Pasta de ajonjolí (Sesamum indicum)	—	15
Avena (Avena sativa)	10	15
Melaza de caña	5	5
Premezcla vitamínica y mineral	2	2
Carbonato de calcio	2	2
Sal común	1	1
Total	100	100

Fuente: *Elaboración propia con base en NRC (2007).*

Cuadro 4. Composición nutrimental calculada de las dietas

Nutriente	T1 – Soya	T2 – Ajonjolí
Proteína cruda (%)	15.0	15.1
Energía metabolizable (Mcal/kg MS)	2.80	2.78
Fibra detergente neutra (%)	24.3	26.1
Fibra detergente ácida (%)	14.2	15.8
Extracto etéreo (%)	3.2	4.1
Calcio (%)	0.72	0.85
Fósforo (%)	0.42	0.40
Materia seca (%)	88.5	88.3

Análisis calculado con base en tablas de composición de alimentos (Sauvant et al., 2004; NRC, 2007).

5.5 Variables productivas evaluadas

El experimento tuvo una duración de 10 semanas (70 días). Se evaluaron las siguientes variables:

- Peso vivo (PV, kg): Registrado cada semana en ayuno de 12 horas utilizando báscula digital con precisión de 0.1 kg.
- Ganancia diaria de peso (GDP, g/animal/día): Calculada como: $GDP = (PV_{final} - PV_{inicial}) / \text{número de días del período}$.
- Consumo de materia seca (CMS, kg MS/animal/día): Determinado por diferencia entre la cantidad de alimento ofrecida y los rechazos, con análisis de MS al 65°C por 72 h (AOAC, 2005).
- Conversión alimenticia (CA): $CA = CMS \text{ (kg)} / GDP \text{ (kg)}$.
- Análisis económico: Se calcularon el costo de alimentación por kg de ganancia de peso (\$/kg GDP) y la relación beneficio-costos (B:C), empleando los precios de mercado vigentes en la región de Texcoco, Estado de México.

5.6 Análisis estadístico

Los datos se procesaron con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics v.29 (**IBM Corp., 2020**). Previamente al análisis principal, se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene ($\alpha = 0.05$). Las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba t de Student para muestras independientes con un nivel de significancia de 5% ($P < 0.05$). Los resultados se expresan como media $\pm$ error estándar de la media (EEM). Para variables que no cumplieron el supuesto de normalidad, se realizó una transformación logarítmica previa al análisis, y los valores presentados corresponden a las medias y EEM en escala original.

6. RESULTADOS

6.1 Peso vivo semanal y comportamiento productivo

En el Cuadro 5 se presenta la evolución semanal del peso vivo promedio (kg $\pm$ EEM) de los corderos Dorper $\times$ Katahdin asignados a cada tratamiento durante las diez semanas del período experimental.

Cuadro 5. Peso vivo promedio semanal (kg $\pm$ EEM) de corderos Dorper $\times$ Katahdin alimentados con dos fuentes proteicas durante la fase de finalización

Semana	T1	T2
1	20.50 $\pm$ 0.52	18.43 $\pm$ 0.70
2	22.97 $\pm$ 0.63	21.79 $\pm$ 0.80
3	25.47 $\pm$ 0.28	23.62 $\pm$ 0.61
4	27.66 $\pm$ 0.82	26.79 $\pm$ 0.56
5	30.81 $\pm$ 0.22	28.18 $\pm$ 0.65
6	32.77 $\pm$ 0.32	29.93 $\pm$ 0.79
7	34.17 $\pm$ 0.35	33.19 $\pm$ 0.29
8	37.20 $\pm$ 0.60	35.40 $\pm$ 0.37
9	40.97 $\pm$ 0.82	38.29 $\pm$ 0.93
10	42.66 $\pm$ 0.62	40.79 $\pm$ 0.57

Medias con diferente literal en la misma fila difieren significativamente ($P < 0.05$). ns = no significativo ($P > 0.05$). EEM = error estándar de la media.

Durante las diez semanas del período experimental, los corderos de ambos tratamientos registraron un incremento sostenido y progresivo en el peso vivo. Los animales del T1 (pasta de soya) mostraron numéricamente pesos superiores en la mayoría de las semanas evaluadas en comparación con los de T2 (pasta de ajonjolí);

sin embargo, estas diferencias no alcanzaron significancia estadística en ninguna de las semanas de medición ($P > 0.05$), lo que indica un comportamiento ponderal equivalente entre tratamientos.

Los pesos finales (semana 10) fueron de 42.66 ± 0.62 kg para T1 y 40.79 ± 0.57 kg para T2 ($P > 0.05$), representando ganancias totales de 22.16 kg y 22.36 kg, respectivamente, a partir de pesos iniciales diferentes. La tendencia de crecimiento en ambos grupos fue lineal y consistente a lo largo del ensayo, con incrementos semanales promedio de 2.5 kg para T1 y 2.4 kg para T2.

6.2 Variables productivas

En el Cuadro 5 se presentan los parámetros productivos calculados para el período total del ensayo.

Cuadro 5. Parámetros productivos de corderos Dorper × Katahdin alimentados con pasta de soya (T1) o pasta de ajonjolí (T2) durante diez semanas de finalización

GDP = Ganancia diaria de peso. CMS = Consumo de materia seca. EEM = Error estándar de la media. P-valor obtenido mediante prueba t de Student para muestras independientes.

La ganancia diaria de peso (GDP) promedio fue de 316.6 ± 11.1 g/animal/día para T1 y 319.4 ± 12.1 g/animal/día para T2, sin diferencias estadísticas entre tratamientos ($P > 0.05$). El consumo de materia seca fue similar entre grupos (1.28 vs. 1.25 kg MS/animal/día, $P > 0.05$). La conversión alimenticia tampoco difirió significativamente entre T1 y T2 (4.04 vs. 3.91, respectivamente; $P > 0.05$), aunque numéricamente T2 presentó una conversión ligeramente más favorable.

6.3 Análisis económico

El Cuadro 6 presenta el análisis económico comparativo de los tratamientos, considerando los costos de alimentación y los ingresos por venta de los corderos al precio de mercado regional vigente.

Cuadro 6. Análisis económico comparativo de los tratamientos experimentales por animal durante 70 días de finalización

Precios de pasta de soya: \$9.50/kg; pasta de ajonjolí: \$6.80/kg (precios de mercado, enero 2023, región Texcoco, Estado de México). GDP = Ganancia diaria de peso.

Los resultados económicos mostraron diferencias importantes entre tratamientos a favor de la dieta con pasta de ajonjolí. El costo de alimentación por kilogramo de ganancia de peso fue de \$27.49 para T1 y \$23.09 para T2, lo que representa una reducción del 16.0% en favor del T2. La relación beneficio:costo fue de 4.90 para T1 y 5.53 para T2, indicando una mayor rentabilidad económica del tratamiento con pasta de ajonjolí a pesar de una ligera reducción numérica en el peso final comercial.

6.4 Análisis económico comparativo (Cuadro 6)

El análisis económico se realizó considerando los costos reales de los ingredientes en el mercado regional de Texcoco, Estado de México, durante enero de 2023 (pasta de soya: \$9.50/kg; pasta de ajonjolí: \$6.80/kg), el consumo de materia seca registrado en cada tratamiento y el precio de venta del cordero en pie vigente en la zona (\$70.00/kg de peso vivo). En el Cuadro 6 se presenta el desglose completo de los indicadores económicos comparativos entre tratamientos.

Cuadro 6. Análisis económico comparativo de los tratamientos experimentales (T1: pasta de soya; T2: pasta de ajonjolí) en la engorda de corderos Dorper × Katahdin durante 70 días de finalización

Concepto	T1 — Pasta de soya	T2 — Pasta de ajonjolí	Diferencia T2 vs T1
A. COSTOS DE LA FUENTE PROTEICA			
Precio de mercado (\$/kg)	\$9.50	\$6.80	-\$2.70 (-28.4%)
Inclusión en la dieta (%)	20.0	15.0	-5.0 pp

Concepto	T1 — Pasta de soya	T2 — Pasta de ajonjolí	Diferencia T2 vs T1
Costo de la fuente proteica en dieta (\$/100 kg)	\$190.00	\$102.00	-\$88.00 (-46.3%)
B. COSTO TOTAL DE LA DIETA			
Costo dieta completa (\$/kg MS)	\$6.80	\$5.90	-\$0.90 (-13.2%)
CMS promedio (kg MS/animal/día)	1.28	1.25	-0.03
CMS total (kg MS/animal/70 días)	89.6	87.5	-2.1
Costo total alimentación (\$/animal/70 días)	\$609.28	\$516.25	-\$93.03 (-15.3%)
C. PARÁMETROS PRODUCTIVOS UTILIZADOS			
Peso inicial promedio (kg)	20.50	18.43	-2.07
Peso final promedio (kg)	42.66	40.79	-1.87
Ganancia total de peso (kg/animal)	22.16	22.36	+0.20
GDP promedio (g/animal/día)	316.6	319.4	+2.8
Conversión alimenticia (kg MS/kg GDP)	4.04	3.91	-0.13
D. INDICADORES ECONÓMICOS DE RENTABILIDAD			
Costo de alimentación/kg de GDP (\$)	\$27.49	\$23.09	-\$4.40 (-16.0%)
Precio de venta del cordero (\$/kg PV vivo)*	\$70.00	\$70.00	—
Ingreso bruto por venta (\$/animal)	\$2,986.20	\$2,855.30	-\$130.90
Margen bruto (ingreso – costo alimentación)	\$2,376.92	\$2,339.05	-\$37.87 (-1.6%)
Relación beneficio:costo (B:C)	4.90	5.53	+0.63 (+12.9%)
Ahorro acumulado por 14 animales (\$/lote)	—	—	+\$1,302.42

** Precio de venta del cordero en pie en mercados regionales de Texcoco, Estado de México (enero 2023). pp = puntos porcentuales. GDP = Ganancia diaria de peso. CMS = Consumo de materia seca. B:C = Relación beneficio:costo calculada como ingreso bruto / costo de alimentación. El ahorro acumulado por lote considera 14 animales en T2 respecto a T1. Los precios de los demás ingredientes de la dieta (maíz, avena, melaza, premezcla, carbonato de calcio, sal) fueron equivalentes en ambos tratamientos.*

6.5 Costo de la fuente proteica y costo total de la dieta

El diferencial de precio entre la pasta de soya (\$9.50/kg) y la pasta de ajonjolí (\$6.80/kg) fue de \$2.70/kg, lo que representa una reducción del 28.4% en el costo unitario de la fuente proteica. Dado que la pasta de soya se incluyó al 20% de la ración (T1) y la pasta de ajonjolí al 15% (T2), el costo de la fracción proteica por cada 100 kg de dieta fue de \$190.00 para T1 y de \$102.00 para T2, una diferencia de \$88.00 (46.3%). Esta reducción se tradujo en un menor costo total de la dieta completa: \$6.80/kg MS para T1 frente a \$5.90/kg MS para T2, equivalente a un ahorro del 13.2% por kilogramo de materia seca consumida.

El consumo acumulado de materia seca durante el período experimental fue de 89.6 kg MS/animal para T1 y de 87.5 kg MS/animal para T2, diferencia no significativa ($P > 0.05$) que refleja el comportamiento similar del consumo voluntario entre tratamientos. Al multiplicar el costo por kg MS por el consumo total, el costo de alimentación por animal durante los 70 días de experimento fue de \$609.28 para T1 y de \$516.25 para T2, un ahorro de \$93.03 por animal (15.3%) a favor de la dieta con pasta de ajonjolí. Para un lote de 14 animales como el del presente estudio, este diferencial representa un ahorro total de \$1,302.42 por ciclo de engorda, cifra que escala significativamente cuando se proyecta a operaciones comerciales de mayor escala.

6.6 Costo de alimentación por kilogramo de ganancia de peso

El indicador económico más relevante para evaluar la eficiencia productiva en engorda intensiva es el costo de alimentación por kilogramo de ganancia de peso (\$/kg GDP), ya que integra simultáneamente el desempeño biológico del animal y el costo de los insumos. Para T1 (pasta de soya), este indicador fue de \$27.49/kg GDP,

mientras que para T2 (pasta de ajonjolí) fue de \$23.09/kg GDP, lo que representa una reducción de \$4.40/kg GDP (-16.0%) en favor del tratamiento con pasta de ajonjolí. Esta diferencia se explica por la convergencia de dos factores: el menor costo de la dieta en T2 y una conversión alimenticia numéricamente más favorable en ese tratamiento (3.91 vs. 4.04 kg MS/kg GDP). Mohamed et al. (2021) reportaron un ahorro similar del orden del 18% al sustituir soya por pasta de ajonjolí en corderos Barki, confirmando la consistencia de este hallazgo en diferentes genotipos ovinos.

6.7 Ingresos, margen bruto y relación beneficio:costo

Los ingresos brutos por venta de los corderos al peso final, valuados al precio de mercado de \$70.00/kg de peso vivo, fueron de \$2,986.20/animal para T1 y \$2,855.30/animal para T2, una diferencia de \$130.90 menor para T2, explicada únicamente por el menor peso vivo final de los animales de este tratamiento (40.79 vs. 42.66 kg). Sin embargo, al descontar el costo de alimentación, el margen bruto resultó de \$2,376.92/animal para T1 y \$2,339.05/animal para T2, una diferencia de tan solo \$37.87 (-1.6%), notablemente inferior al ahorro en costos de alimentación (\$93.03), lo que refleja que una fracción importante del beneficio económico de T2 fue neutralizada por el ligeramente menor peso de venta. No obstante, la relación beneficio:costo (B:C) fue superior en T2 (5.53) respecto a T1 (4.90), con una diferencia de 0.63 unidades (+12.9%). Esto significa que por cada peso invertido en alimentación, T2 generó \$5.53 de ingreso bruto frente a \$4.90 de T1, confirmando la mayor rentabilidad económica de la dieta con pasta de ajonjolí.

Estos resultados deben interpretarse en el contexto de que los pesos iniciales de los corderos entre tratamientos no fueron estadísticamente iguales (T1: 20.50 kg vs. T2: 18.43 kg, $P > 0.05$), lo cual pudo haber influido marginalmente en el peso final de venta de T2. Futuros estudios con bloques completos al azar y ajuste estadístico por covarianza del peso inicial permitirán depurar esta fuente de variación y cuantificar con mayor precisión el impacto económico neto de la sustitución.

7. DISCUSIÓN

7.1 Peso vivo y ganancia diaria de peso

Los resultados del presente estudio demuestran que la sustitución total de pasta de soya por pasta de ajonjolí en dietas para corderos Dorper × Katahdin en fase de finalización no comprometió el rendimiento ponderal de los animales, dado que no se observaron diferencias estadísticas en el peso vivo semanal ni en la GDP ($P > 0.05$). Estos hallazgos son consistentes con los reportados por Mohamed et al. (2021) en corderos Barki, quienes encontraron que la sustitución de la pasta de soya al 50% y al 100% por pasta de ajonjolí no modificó significativamente la ganancia de peso ni la digestibilidad de nutrientes, señalando que la pasta de ajonjolí puede considerarse una fuente proteica funcional en rumiantes de pequeño tamaño.

De manera similar, Al-Haidary et al. (2019) evaluaron la incorporación de pasta de ajonjolí a niveles de 7.5% y 15% de la materia seca en ovejas Awassi lactantes, reportando que la digestibilidad de materia seca, materia orgánica, proteína cruda y fibra detergente neutra no fueron afectadas significativamente por los tratamientos, resultado que respalda la idoneidad nutricional de esta fuente proteica. En el presente estudio, la GDP promedio de 316.6-319.4 g/animal/día es concordante con los rangos reportados para cruza Dorper en condiciones de estabulación en el Altiplano Central de México (**García-Winder et al., 2013; SAGARPA, 2014**), confirmando que el desempeño productivo se mantuvo dentro de parámetros aceptables.

La ausencia de diferencias significativas en el peso vivo entre tratamientos puede explicarse por el contenido proteico similar de ambas dietas ($PC \approx 15\%$), garantizando que los requerimientos de proteína metabolizable de los corderos en finalización fueran satisfechos con ambas fuentes (NRC, 2007). La pasta de ajonjolí posee un contenido de proteína cruda de 40-50% (Aguilera et al., 2018) y presenta perfiles complementarios de aminoácidos respecto a la soya, particularmente por su

alto contenido de metionina (Shahidi et al., 2006), aminoácido que en rumiantes influye en la síntesis de proteína microbiana ruminal (NRC, 2007).

7.2 Consumo de materia seca y conversión alimenticia

El CMS no difirió entre tratamientos ($P > 0.05$), promediando 1.27 kg MS/animal/día. Este resultado coincide con lo reportado por **Mahmoud y Bendary (2014)**, quienes al sustituir la pasta de soya por pasta de ajonjolí en dietas de corderos en crecimiento no observaron diferencias en el consumo voluntario. En contraste, **Chiriboga et al. (2014)**, trabajando con codornices (*Coturnix coturnix*), encontraron que niveles superiores al 25% de sustitución de pasta de soya por pasta de ajonjolí redujeron el consumo de alimento, lo cual atribuyeron al mayor contenido de ácido fítico en la pasta de ajonjolí, que actúa como factor antinutricional reduciendo la palatabilidad. Sin embargo, en rumiantes este efecto es menos pronunciado debido a la capacidad del rumen para degradar compuestos antinutricionales (**Church, 2004**). La degradabilidad ruminal de la proteína de la pasta de ajonjolí, aunque ligeramente inferior a la de la soya, es suficiente para mantener la función microbiana del rumen en los rangos de productividad deseados (**Sauvant et al., 2004**).

La conversión alimenticia fue numéricamente más favorable en T2 (3.91) que en T1 (4.04), aunque sin diferencia estadística ($P > 0.05$). Estos valores son comparables a los reportados por González-Garduño et al. (2011) en ovinos de pelo Pelibuey, Dorper y Katahdin en estabulación bajo condiciones tropicales (CA = 5.7 en la semana 7 de evaluación), aunque las diferencias podrían atribuirse al cruce racial y al sistema de alimentación empleado.

7.3 Eficiencia económica de la sustitución

La principal ventaja de la sustitución de soya por pasta de ajonjolí radicó en el plano económico. El costo de alimentación por kg de ganancia de peso se redujo en 16.0% con la dieta de pasta de ajonjolí (\$23.09 vs. \$27.49/kg GDP), y la relación beneficio:costo fue superior para T2 (5.53 vs. 4.90). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por **Mohamed et al. (2021)**, quienes reportaron una reducción

significativa en el costo de alimentación por kilogramo de peso ganado al sustituir soya por pasta de ajonjolí en corderos Barki, sin detrimento en los parámetros productivos. Asimismo, **Aguilera et al. (2018)** destacaron la viabilidad económica de la pasta de ajonjolí como fuente proteica alternativa en rumiantes, señalando que el diferencial de precio con respecto a la soya puede representar ahorros de hasta el 30% en el costo de la fracción proteica de la dieta.

La reducción de costos observada cobra relevancia en el contexto nacional. En México, los costos de alimentación representan entre el 65 y 75% de los costos totales de producción en sistemas ovinos intensivos (Becerril-Herrera et al., 2009). En ese sentido, la disminución del costo por kg de GDP de \$4.40 entre tratamientos, multiplicada por el número de animales y los ciclos productivos anuales, puede representar un impacto económico sustancial para los productores ovinos de la región. García-Winder et al. (2013) señalan que la rentabilidad de los sistemas de producción ovina intensiva en México depende críticamente de la eficiencia en la conversión alimenticia y del costo de los insumos proteicos, por lo que la adopción de fuentes proteicas más económicas con rendimientos equivalentes resulta determinante para la viabilidad financiera del sistema.

7.4 Repercusiones para la producción ovina en México

Los resultados del presente estudio demuestran que la pasta de ajonjolí constituye una alternativa proteica viable para la alimentación de corderos de las razas Dorper y Katahdin en fase de finalización, sin afectar negativamente los parámetros productivos y con un beneficio económico demostrable. La producción nacional de ajonjolí se concentra principalmente en los estados de Guerrero, Michoacán, Nayarit y Sinaloa (SIAP, 2022), lo que garantiza una disponibilidad regional del subproducto y potencialmente costos de transporte menores en comparación con la soya, que México importa en un 95% de su consumo total (FAO, 2020).

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el uso de pasta de ajonjolí contribuye a la economía circular al valorizar un subproducto de la industria aceitera, reduce la dependencia de proteínas importadas y apoya cadenas de valor agroindustriales locales, aspectos que son estratégicos para la soberanía alimentaria del sector ganadero nacional (FAO, 2018). Futuros estudios deberían evaluar distintos niveles de inclusión de pasta de ajonjolí (por ejemplo, 25%, 50% y 75% de sustitución de la soya), así como su efecto sobre características de la canal, calidad de la carne y parámetros sanguíneos y ruminales, a fin de determinar el nivel óptimo de reemplazo.

8. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se establecen las siguientes conclusiones:

8.1 Equivalencia productiva entre tratamientos

La sustitución total de la pasta de soya (20% de inclusión) por pasta de ajonjolí (15% de inclusión) en dietas para corderos Dorper × Katahdin en fase de finalización no comprometió ninguno de los parámetros productivos evaluados. La ganancia diaria de peso (316.6 vs. 319.4 g/animal/día), el consumo de materia seca (1.28 vs. 1.25 kg MS/animal/día) y la conversión alimenticia (4.04 vs. 3.91 kg MS/kg GDP) no mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P > 0.05$), lo que indica que la pasta de ajonjolí puede funcionar como fuente proteica funcionalmente equivalente a la pasta de soya en este tipo de sistema productivo. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por **Al-Haidary et al. (2019)** y **Mohamed et al. (2021)** en ovinos de otras razas evaluados bajo condiciones de estabulación.

8.2 Comportamiento ponderal a lo largo del período experimental

El peso vivo de los corderos de ambos grupos siguió una trayectoria de crecimiento lineal y sostenida durante las 10 semanas del experimento, sin interrupciones perceptibles en ninguna de las semanas de registro. Los pesos finales promedio fueron de 42.66 ± 0.62 kg para T1 y 40.79 ± 0.57 kg para T2 ($P > 0.05$), valores acordes con el potencial de crecimiento reportado en la literatura para la cruce Dorper × Katahdin bajo condiciones de estabulación en el Altiplano Central de México (González-Garduño et al., 2011), confirmando que la nutrición provista por ambas dietas fue adecuada para sostener el crecimiento esperado en la fase de finalización.

8.3 Ventaja económica significativa de la pasta de ajonjolí

La principal contribución del presente estudio radica en la dimensión económica: la dieta con pasta de ajonjolí redujo el costo de alimentación por kilogramo de ganancia de peso en 16.0% (\$23.09 vs. \$27.49/kg GDP) y mejoró la relación beneficio:costo en 12.9% (5.53 vs. 4.90), en comparación con la dieta basada en pasta de soya. El ahorro

en costos de alimentación fue de \$93.03 por animal durante el período experimental (70 días), equivalente a \$1,302.42 por lote de 14 corderos. Dado que la alimentación representa entre el 65 y el 75% de los costos totales de producción en sistemas ovinos intensivos (Becerril-Herrera et al., 2009), una reducción del 15.3% en el costo de este rubro puede mejorar sustancialmente la rentabilidad global del sistema.

8.4 Contribución a la sostenibilidad y soberanía alimentaria

El uso de pasta de ajonjolí como fuente proteica alternativa en la alimentación de ovinos contribuye a diversificar la base de insumos del sector ganadero, reduciendo la dependencia del grano de soya importado, del cual México adquiere más del 95% de su consumo en los mercados internacionales (FAO, 2020). La valorización de este subproducto agroindustrial generado en las principales zonas productoras nacionales (Guerrero, Michoacán, Sinaloa) fortalece las cadenas de valor regionales, apoya la economía circular y se alinea con los objetivos de soberanía alimentaria establecidos en la política agropecuaria nacional (DOF, 2020).

8.5 Recomendación técnica para los productores

Con base en la evidencia generada, se recomienda a los productores ovinos del Altiplano Central de México incorporar la pasta de ajonjolí como sustituto total de la pasta de soya en dietas para la fase de finalización, siempre que: (a) las dietas sean formuladas de manera isoproteica e isoenergética con apoyo técnico especializado, garantizando una proteína cruda mínima del 15% y una energía metabolizable de al menos 2.8 Mcal/kg MS; (b) se realice un período de adaptación gradual de 10-15 días para facilitar el ajuste de la microbiota ruminal a la nueva fuente proteica; y (c) se verifique la calidad de la pasta de ajonjolí adquirida (contenido de PC, humedad y ausencia de hongos), dado que las características del subproducto pueden variar entre lotes y proveedores.

8.6 Perspectivas para futuras investigaciones

Los resultados del presente estudio constituyen una base sólida para investigaciones posteriores que permitan: (1) evaluar niveles intermedios de sustitución (25%, 50% y 75%) para identificar el nivel óptimo de inclusión de pasta de ajonjolí; (2) determinar el

efecto de la sustitución sobre las características de la canal (rendimiento, área de ojo de costilla, espesor de grasa dorsal) y la calidad de la carne (color, pH, terneza, perfil de ácidos grasos); (3) analizar parámetros sanguíneos y ruminales (pH ruminal, ácidos grasos volátiles, nitrógeno amoniacal) para comprender los mecanismos metabólicos subyacentes; y (4) realizar análisis de sensibilidad económica ante variaciones en el diferencial de precios entre ambas fuentes proteicas, a fin de establecer umbrales de rentabilidad aplicables en diferentes escenarios de mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Aguilera, J.F., Bustos, M. y Molina, E. (2018). Composición química y valor nutritivo de la pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) para rumiantes. Archivos de Zootecnia, 67(259), 315-322. <https://doi.org/10.21071/az.v67i259.3673>
- 2.- Al-Haidary, A.A., Alhidary, I.A., Abouheif, M.A. y Alfuraiji, M.M. (2019). Replacing Soybean Meal with Sesame Meal in the Diets of Lactating Awassi Ewes Suckling Single Lambs: Nutrient Digestibility, Milk Production, and Lamb Growth. Animals, 9(4), 157. <https://doi.org/10.3390/ani9040157>
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- 3.- Becerril-Herrera, M., Alonso-Spilsbury, M., Lemus-Flores, C., Guerrero-Legarreta, I. y Ramírez-Necoechea, R. (2009). Estructura y costos de producción en sistemas ovinos de estabulación en México. Técnica Pecuaria en México, 47(2), 207-218.
- 4.- Chessa, B., Pereira, F., Arnaud, F., Amorim, A., Goyache, F., Mainland, I., ... Palmarini, M. (2009). Revealing the History of Sheep Domestication Using Retrovirus Integrations. Science, 324(5926), 532-536. <https://doi.org/10.1126/science.1170587>
- 5.- Chiriboga, G., Uzcátegui, E. y de la Torre, R. (2014). Evaluación nutricional de la pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) como sustituto de la pasta de soya en el crecimiento de codornices (*Coturnix coturnix*). ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, 6(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v6i1.154>
- Church, D.C. (2004). El rumiante: fisiología digestiva y nutrición (2ª ed.). Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- 6.- Cloete, S.W.P., Snyman, M.A. y Herselman, M.J. (2000). Productive Performance of Dorper Sheep. Small Ruminant Research, 36(2), 119-135. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00156-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00156-X)

- DOF. (2020). Decreto por el que se establece la política nacional en materia de soberanía alimentaria. Diario Oficial de la Federación, 25 de septiembre de 2020. Ciudad de México.
- 7.- FAO. (2020). FAOSTAT: Agricultural Production Statistics 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
<http://www.fao.org/faostat>
- Flores-Aguirre, C.E. (2007). Evaluación del garbanzo (*Cicer arietinum*) como fuente energético-proteica en dietas integrales para toretes en engorda. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
- 8.- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (4ª ed.). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- 9.- García-Winder, M., Gallegos-Sánchez, J., Calderón-Robles, R.C. y Rosiles-Martínez, R. (2013). Producción y calidad de carne ovina en México: situación actual y perspectivas. *Ciencia Veterinaria*, 14(1), 45-62.
- 10.- Gatel, F. (1994). Protein quality of legume seeds for non-ruminant animals: a literature review. *Animal Feed Science and Technology*, 45(3-4), 317-348.
[https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90039-6).
- 11.- González-Garduño, R., Berumen-Alatorre, A.C. y Torres-Hernández, G. (2011). Ganancia de peso y características de la canal de ovinos de pelo en estabulación. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15(3), 3-20.
- IBM Corp. (2020). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 29.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- 12.- Mahmoud, A.E.M. y Bendary, M.M. (2014). Effect of whole substitution of protein source by *Nigella sativa* meal and sesame seed meal in ration on performance of growing lambs and calves. *Global Veterinaria*, 13(3), 391-396.
- 13.- Mohamed, M.I. (2021). Nutritional impact of partial or complete replacement of soybean meal by sesame (*Sesamum indicum*) meal in lambs rations.

- Bulletin of the National Research Centre, 45(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1186/s42269-019-0140-8>
- NRC. (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academies Press. Washington, DC, USA.
- 14.- SADER. (2020). Situación actual y perspectivas de la producción de carne de ovino en México. Claridades Agropecuarias, 322, 1-25. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México.
- 15.- SADER. (2017). Ley Federal de Sanidad Animal. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México.
- 16.- SADER. (2020). Situación actual y perspectivas de la producción de carne de ovino en México. Claridades Agropecuarias, 322, 1-25. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México.
- 17.- Salunkhe, D.K., Chavan, J.K., Adsule, R.N. y Kadam, S.S. (1992). World Oilseeds: Chemistry, Technology, and Utilization. Van Nostrand Reinhold. New York, USA.
- 18.- Satter, L.D. y Slyter, L.L. (1974). Effect of Ammonia Concentration on Rumen Microbial Protein Production In Vitro. British Journal of Nutrition, 32(2), 199-208. <https://doi.org/10.1079/BJN19740073>
- Sauvant, D., Perez, J.M. y Tran, G. (2004). Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials (2nd ed.). Wageningen Academic Publishers. Wageningen, The Netherlands.
- 19.- Shahidi, F., Liyana-Pathirana, C.M. y Wall, D.S. (2006). Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. Food Chemistry, 99(3), 478-483. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.009>
- SIAP. (2022). Estadísticas de producción pecuaria y agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SADER. México. <https://www.gob.mx/siap>
- 20.- Tello-Salgado, I., Bonilla-Villalba, M., Herrera-Camacho, J. y Suárez-Espinosa, J. (2014). Análisis de la cadena agroalimentaria de carne ovina

- en el Estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(3), 323-338.
- 21.- USDA. (2022). Oilseeds: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. Washington, DC. <https://www.fas.usda.gov>
- 22.- Wildeus, S. (1997). Hair sheep genetic resources and their contribution to diversified small ruminant production in the United States. *Journal of Animal Science*, 75(2), 630-640. <https://doi.org/10.2527/1997.752630x>
- 23.- Zeder, M.A. (2008). Domestication and Early Agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, Diffusion, and Impact. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(33), 11597-11604. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801317105>