



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

EVALUACIÓN DE UNA FÓRMULA POLIHERBAL FUNCIONAL EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CARNE EN CORDEROS

LUIS DANIEL BENAVIDES GONZÁLEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2023



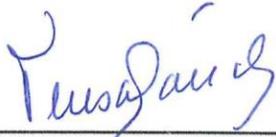
COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Evaluación de una fórmula polihierbal funcional en el comportamiento productivo y calidad de la carne en corderos**, realizada por el estudiante: **Luis Daniel Benavides González**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A) 
Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda

ASESOR (A) 
Dr. José Luis Figueroa Velasco

ASESOR (A) 
Dr. José Alfredo Martínez Aispuro

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, febrero de 2023

EVALUACIÓN DE UNA FÓRMULA POLIHERBAL FUNCIONAL EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CARNE EN CORDEROS

Luis Daniel Benavides González, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2023

RESUMEN

Existe una amplia gama de aditivos para la alimentación animal que pueden optimizar los parámetros productivos; la suplementación a base de compuestos herbales, puede mejorar la rentabilidad y la producción de productos inocuos. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la suplementación dietética de una fórmula polihierbal (FPH) compuesta por partes de *Curcuma longa*, *Piper nigrum* L, *Zingiber officinale*, *Trachyspermum amin*, *Rheum emodi*, *Thymus vulgaris* L y *Fagopyrum esculentum*, en el comportamiento productivo, calidad de la carne y metabolitos séricos en corderos de engorda. Cuarenta corderos Dorset x Suffolk (25.35 ± 0.20 kg PV) se asignaron a cuatro tratamientos: 0.00 (testigo), 0.20 (FPH-0.20), 0.40 (FPH-0.40) y 0.60 (FPH-0.60) g de FPH kg^{-1} de MS durante 59 días. El contenido de proteína en carne aumentó en los corderos alimentados con FPH-0.20 ($P \leq 0.05$). La capacidad de retención de agua (CRA) fue mayor ($P \leq 0.05$) con los tratamientos FPH-0.20 y FHP-0.40. La suplementación de FPH-0.40 y FPH-0.60 aumentó ($P \leq 0.05$) el nivel de C20:5n3, y se modificó el total de ácidos grasos de cadena larga (AGCL). Asimismo, la adición de la FPH modificó ($P \leq 0.05$) el nivel de glucosa en sangre. No hubo efecto ($P > 0.05$) de la suplementación con la FPH en el comportamiento productivo, fermentación ruminal, características de la canal, capacidad antioxidante y niveles séricos de metabolitos proteicos. En conclusión, la adición de una FPH en la dieta de corderos favorece las características físico químicas de la carne.

Palabras clave: Ácidos grasos de cadena larga; metabolitos sanguíneos; capacidad antioxidante; compuestos bioactivos; fermentación ruminal.

EFFECT OF ADDING A POLYHERBAL FORMULA ON THE PRODUCTIVE RESPONSE AND QUALITY OF MEAT IN LAMBS

Luis Daniel Benavides González, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2023

ABSTRACT

There is a wide range of additives for animal feed that can optimize productive parameters; supplementation based on herbal compounds can improve profitability and the production of innocuous products. Therefore, the objective of this study was to evaluate the dietary supplementation of a polyherbal formula (PHF) composed of parts of *Curcuma longa*, *Piper nigrum* L, *Zingiber officinale*, *Trachyspermum amin*, *Rheum emodi*, *Thymus vulgaris* L and *Fagopyrum esculentum*, on the growth performance, meat quality and serum metabolites in fattening lambs. Forty Dorset × Suffolk lambs (25.35 ± 0.20 kg PV) were assigned to four treatments: 0.00 (control), 0.20 (PHF-0.20), 0.40 (PHF-0.40) and 0.60 (PHF-0.60) g of PHF kg^{-1} during 59 days. Meat protein content increased in lambs fed PHF-0.20 ($P \leq 0.05$). Water retention capacity (WRC) was higher ($P \leq 0.05$) with the PHF-0.20 and PHF-0.40 treatments. Supplementation of PHF-0.40 and PHF-0.60 increased ($P \leq 0.05$) the level of C20:5n3 fatty acid, and modified total long-chain fatty acids (LCFA). Finally, the addition of PHF modified ($P \leq 0.05$) the blood glucose level. There was no effect ($P > 0.05$) of PHF supplementation on growth performance, rumen fermentation, carcass characteristics, antioxidant capacity and serum levels of protein metabolites. In conclusion, the addition of a PHF improves meat physico-chemical characteristics of meat.

Key words: Long-chain fatty acids; blood metabolites; antioxidant capacity; bioactive compounds; rumen fermentation.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

Al **Colegio de Postgraduados campus Montecillo**, por la oportunidad brindada para realizar los estudios de Maestría en Ciencias y al posgrado de **Recursos Genéticos y Productividad – Ganadería**.

A la Dra. **María Teresa Sánchez-Torres Esqueda**, por la oportunidad otorgada para realizar esta investigación bajo su dirección, por los consejos, el empeño, y sobre todo por su paciencia que tuvo a lo largo de mi formación.

Al Dr. **José Luis Figueroa Velasco**, por su dedicación, colaboración y sugerencias para la realización de esta investigación; además, por todas esas dudas que resolvió durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

Al Dr. **José Alfredo Martínez Aispuro**, por su apoyo durante el transcurso de la investigación; además, por sus consejos y sus palabras tan oportunas en cada momento de incertidumbre.

Al Dr. **David Hernández Sánchez**, por brindarme su apoyo y amistad durante mis estudios de posgrado.

Al M.V.Z. **José Luis Cordero Mora**, por el apoyo incondicional para el desarrollo del trabajo de investigación y por sus comentarios tan acertados durante toda mi estancia en el Colegio de Postgraduados; de verdad: ¡Muchas gracias!

A la Dra. **María Magdalena Crosby Galván** y en especial, a la Ing. **Elsa Margarita Crosby Galván**, por ser un gran apoyo durante mi estancia en laboratorio y, además por ser una persona con un gran sentido del **deber y responsabilidad**.

A todos mis amigos por ser un gran pilar en mi formación, un respiro en los momentos difíciles y por todos los momentos de alegre convivencia, en especial al **escuadrón**.

DEDICATORIA

Dedico el presente documento, fruto de un arduo trabajo y esmero por dos años.....

*A mis padres **José Luis Benavides Montes** y **Olga González Bautista**, por ser pilares en mi formación académica, brindándome la mejor educación a lo largo de mi vida, apoyándome en el transcurso de mi estancia por el Colegio de Postgraduados y, sobre todo, por demostrarme que son un excelente ejemplo de vida a seguir, quiero que sientan que este logro también es suyo.*

*A mis hermanos; **Luis, Hugo y Raquel**, por estar pendientes cada instante en el transcurso de mi formación, por quererme y brindarme un apoyo incondicional, ser grandes ejemplos de desarrollo profesional, académico y de vida, respectivamente.*

*A **Karen Amellaly Pedraza Reyes**, indudablemente eres lo mejor que me ha pasado como compañera de vida. Gracias por todo el apoyo incondicional que me has brindado a través del tiempo y de las circunstancias. ¡muchas gracias!*

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA	vii
LISTAS DE CUADROS	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos particulares.....	4
Hipótesis	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
Situación nacional de la ovinocultura.....	6
Aditivos en la alimentación animal	7
Antibióticos como promotores de crecimiento.....	8
Alternativas a los antibióticos como promotores de crecimiento.....	9
Probióticos.....	9
Prebióticos.....	11
Fitobióticos.....	12
Clasificación de los fitobióticos	13
Metabolitos secundarios de las plantas	14
Terpenos.....	15
Fenoles.....	16

Flavonoides	17
Taninos.....	18
Alcaloides	19
Antraquinonas.....	20
Modos de acción de lo fitobióticos	20
Efectos sobre la calidad del producto final.....	21
Limitantes de los aditivos fitobióticos	22
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
Sitio de estudio, diseño experimental y tratamientos	24
Características de la fórmula polihierbal	24
Manejo nutricional.....	25
Comportamiento productivo	25
Análisis de laboratorio.....	27
Análisis estadístico.....	30
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL	31
VI. CONCLUSIÓN	39
VII. LITERATURA CITADA	40
ANEXOS	50
Análisis económico	50

LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1. Composición y análisis bromatológico de las dietas experimentales.....	26
Cuadro 2. Comportamiento productivo, concentración de ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal en rumen de corderos[†] suplementados con cuatro dosis de una fórmula polih herbal.....	31
Cuadro 3. Rendimiento de la canal de corderos[†] suplementados con cuatro dosis de una fórmula polih herbal.....	32
Cuadro 4. Características físico químicas de la carne (<i>longissimus dorsi</i>)[†] de corderos suplementados con cuatro dosis de una fórmula polih herbal.....	32
Cuadro 5. Composición química y perfil de ácidos grasos de cadena larga de la carne (<i>longissimus dorsi</i>)[†] de corderos suplementados con cuatro niveles de una fórmula polih herbal.....	33
Cuadro 6. Capacidad antioxidante[†] y química sanguínea^{††} de corderos suplementados con cuatro dosis de una fórmula polih herbal.....	34
Cuadro 7. Análisis económico por concepto de alimentación en corderos suplementados con cuatro dosis de una fórmula polih herbal.....	52

I. INTRODUCCIÓN

La ovinocultura es una actividad importante debido a la creciente demanda y los beneficios económicos que genera; sin embargo, la producción ovina en México no ha cubierto la demanda del mercado, lo que ocasiona una constante importación de ganado en pie o en su defecto, carne en canal de cordero (Bobadilla-Soto et al., 2021). Por lo tanto, para impulsar la producción de ovinos, es necesario tener en cuenta el modelo de negocio y los aspectos que intervienen, porque solo una vez que se satisfagan las necesidades del mercado, los productores mejorarán su competitividad (Calderón-Cabrera et al., 2022). Para poder lograr una mayor productividad, el ovinocultor debe volver más eficiente los aspectos genéticos, bienestar animal, reproductivos, salud animal, factores socioeconómicos y nutricionales, p. ej. con el uso de aditivos.

Los antibióticos se utilizan ampliamente como aditivos desde la década de 1940 para mejorar la eficiencia del crecimiento animal y así, reducir las mortalidades de los animales en la ganadería. El uso de antibióticos reduce el costo de producción en los sistemas ganaderos en todo el mundo, mejorando así en gran medida la calidad de vida de miles de millones de personas (Callaway et al., 2021). A nivel mundial, el 73% de todos los antibióticos vendidos a nivel global se utilizan como promotores de crecimiento en la producción animal; sin embargo, un creciente número de investigaciones relacionan este tipo de prácticas con el aumento gradual a la resistencia a los antibióticos, no sólo en los animales, sino también en los seres humanos (Van Boeckel et al., 2019). Ante esta situación, varios países han restringido o prohibido el uso de antibióticos en la nutrición animal como promotores del crecimiento (Ma et al., 2021); asimismo, de acuerdo a las percepciones, preferencias y hábitos alimenticios, los consumidores

demandan productos de origen animal libres de residuos químicos como los antibióticos (Alanís et al., 2022).

Una alternativa a los antibióticos es el uso de productos vegetales, como hierbas, especias, extractos de plantas y/o aceites esenciales (Castillo-López et al., 2017). Las propiedades terapéuticas de estos aditivos alimenticios se derivan de los compuestos secundarios que poseen las plantas, como terpenos, taninos, saponinas, flavonoides, etc. (Awuchi, 2019); por lo tanto, en comparación con los antibióticos sintéticos, los compuestos herbales están libres de residuos contaminantes en el organismo o producto final (Castillo-López et al., 2017). Estos aditivos naturales pueden mejorar el comportamiento productivo, prevenir enfermedades, mejorar la salud del animal en general y, sobre todo, ofrecer un producto inocuo para los consumidores y así poder generar un valor agregado en el producto final (Jiang y Xiong, 2016).

El uso de productos vegetales, como hierbas, especias, extractos de plantas, aceites esenciales o fórmulas poliherbales, se han utilizado en la dieta para animales de interés zotécnico. En la dieta de pollos de engorda se observan efectos positivos sobre la calidad de la carne, peso al sacrificio y rendimiento en canal (Kiczorowska et al., 2017); en cerdos, al incorporar compuestos herbales en la ración se mejora la palatabilidad del alimento; además, se observa beneficio en la digestibilidad de los nutrientes, el comportamiento productivo y la conversión alimenticia (Mohammadi y Kim, 2018); en conejos en engorda, la adición de una fórmula polih herbal en la dieta mejoró el peso vivo, consumo de alimento, conversión alimenticia, ganancia diaria de peso y peso de canal caliente y fría, como consecuencia se obtiene una mayor rentabilidad económica (Jaurez-Espinosa et al., 2022); en rumiantes, se demostró que los metabolitos secundarios de

las plantas modifican la fermentación del rumen y mejoran la producción animal, principalmente por el uso más eficiente de la proteína y energía de la dieta y una disminución en las emisiones de metano, lo que resulta en el aumento del rendimiento productivo (Yáñez-Ruiz y Belanche, 2020).

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes dosis de una fórmula polihierbal (FPH) compuesta por partes de plantas: *Curcuma longa*, *Piper nigrum* L, *Zingiber officinale*, *Trachyspermum amin*, *Rheum emodii*, *Thymus vulgaris* L y *Fagopyrum esculentum*, como fuente de terpenos, fenoles, alcaloides, flavonoides y antraquinonas en el comportamiento productivo, calidad de la carne, capacidad antioxidante, perfil de ácidos grasos de cadena larga y metabolitos séricos.

Objetivos particulares

- Evaluar la respuesta productiva de corderos en etapa de finalización suplementados con diferentes dosis de una fórmula polihierbal en la dieta.
- Determinar el efecto de diferentes dosis de una fórmula polihierbal en la producción de ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal en condiciones *in vitro*.
- Evaluar las características físicoquímicas de la carne de corderos al incluir en la dieta diferentes niveles de una fórmula polihierbal.
- Conocer la capacidad antioxidante en suero sanguíneo de diferentes dosis de una fórmula polihierbal adicionada en la dieta de corderos.
- Determinar el perfil de ácidos grasos de cadena larga en carne cruda proveniente del músculo *longissimus dorsi* de corderos suplementados con diferentes dosis de una fórmula polihierbal.

- Determinar el perfil de metabolitos sanguíneos de corderos suplementados con una fórmula polihierbal.

Hipótesis

La adición de diferentes dosis de una fórmula polihierbal (FPH) compuesta por partes de plantas de *Curcuma longa*, *Piper nigrum* L, *Zingiber officinale*, *Trachyspermum amin*, *Rheum emodii*, *Thymus vulgaris* L y *Fagopyrum esculentum*, como fuente de terpenos, fenoles, alcaloides, flavonoides y antraquinonas en la dieta de corderos en etapa de finalización, mejora el comportamiento productivo, características fisicoquímicos de la carne, perfil de ácidos grasos de cadena larga, metabolitos séricos y, además, promueve una respuesta antioxidante.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Situación nacional de la ovinocultura

Durante los años del 2012 al 2021, la población de ganado ovino en México aumentó de 8 405 902 a 8 766 678 millones, lo cual representó un crecimiento del 4.3 % en el inventario nacional. El Estado de México es la entidad federativa que registra la mayor cantidad de ovinos (alrededor de 1.4 millones), equivalente al 15.57 % del inventario nacional. En ese mismo periodo, se incrementó la producción nacional de carne en canal de 57 691 t a 65 891 t; de igual manera, el Estado de México participó con la mayor cantidad de canal (SIAP, 2021).

A pesar del aumento en la producción nacional, aún existe un déficit de carne para satisfacer las necesidades del consumo interno. Al respecto, Hernández-Marín *et al.* (2017) informaron que el faltante de carne de ovino para satisfacer la demanda nacional se importa de Nueva Zelanda, Estados Unidos, Australia, Chile y Uruguay. Sin embargo, la exportación nacional de carne es prácticamente nula; sólo ha sido significativa la venta de vientres y sementales de razas puras para fines reproductivos hacia países como Ecuador, Panamá, Guatemala y Belice.

México, como país en desarrollo, presenta un déficit en los productos de origen animal, causado por el crecimiento en la tasa de población, el aumento en la demanda de proteína de origen animal, incremento del poder adquisitivo de la sociedad y los efectos del cambio climático. Al igual que muchos otros sectores de la economía, el sector pecuario mexicano apuesta por la innovación como método de crecimiento y como estrategia para atraer a nuevos consumidores. De esta manera, la generación de

productos de origen animal resulta de gran importancia en el contexto socioeconómico del país y en todo el sector primario, lo cual ha servido de base para el desarrollo de la industria nacional (Hernández-Marín *et al.*, 2017).

Hernández-Marín *et al.* (2017) consideran que la ovinocultura es una actividad agropecuaria que presenta una de las mejores tasas de rentabilidad económica y buenas perspectivas de crecimiento. La investigación científica se ha caracterizado por generar tecnologías para el desarrollo de la ovinocultura de forma más sustentable, en aspectos genéticos, reproductivos, salud animal, factores socioeconómicos y nutricionales. Por parte de las investigaciones nutricionales se ha hecho mucho énfasis en el uso de aditivos alimenticios para incrementar la producción animal (Montossi *et al.*, 2013).

Aditivos en la alimentación animal

Pirgozliev *et al.* (2019) definen a un aditivo alimenticio como al producto añadido en la formulación a un nivel bajo, cuyo propósito es incrementar aspectos como la calidad nutricional del alimento o de los productos de origen animal, rendimientos productivos, bienestar animal o lograr disminuir los costos de producción y obtener una mejor eficiencia en los sistemas pecuarios. Los aditivos pueden ser sustancias, microorganismos o preparados, los cuales son distintos a las materias primas y premezclas; además, por sus funciones, se clasifican en tecnológicos, sensoriales, nutricionales, modificadores digestivos y preventivos de enfermedades.

Los aditivos para la alimentación animal no se pueden incorporar en el mercado a menos que se haya dado autorización después de una evaluación científica que demuestre que

el aditivo no tiene efectos nocivos en la salud humana, animal y en el medio ambiente (Pirgozliev *et al.*, 2019).

Antibióticos como promotores de crecimiento

El uso de aditivos como los antibióticos y productos antimicrobianos como promotores del crecimiento animal (PCA) se convirtió en práctica común después de su descubrimiento en los años 1940. Sin embargo, su uso continuo e indiscriminado creó serios problemas de resistencia microbiana y agudizó la presencia de efectos residuales en los alimentos para el consumo humano (García y García, 2015).

Los antibióticos PCA se administran en la ración en dosis subterapéuticas, para controlar e inhibir el crecimiento de bacterias patógenas causantes de enfermedades subclínicas en el tracto digestivo del animal, reducir la flora autóctona del intestino que compite con el huésped por los nutrientes y de esta forma permite el aprovechamiento más eficiente de los nutrientes; además, reduce la mortalidad animal, aumenta el rendimiento y la productividad, mejora la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia (Hao *et al.*, 2014).

Sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas emitió en el año 2016 el “*Plan de acción de la FAO sobre la resistencia a los antimicrobianos 2016-2020*”, con la finalidad de dejar de utilizar los antibióticos como PCA (FAO, 2016).

A partir de esta problemática y a la inminente prohibición del uso de los antibióticos como PCA, la comunidad científica presta mayor interés en el estudio, evaluación e introducción de otros aditivos nutricionales y zootécnicos como alternativas que presenten propiedades nutraceuticas. Los nutraceuticos son un alimento (o parte del

mismo) que proporcionan beneficios a la salud, pero que, además, tienen efectos que incluyen la prevención y/o tratamiento de una enfermedad (Rajasekaran *et al.*, 2008).

Alternativas a los antibióticos como promotores de crecimiento

Las alternativas a los antibióticos se definen ampliamente como cualquier sustancia que pueda servir como sustituto de los medicamentos terapéuticos que se están volviendo cada vez más ineficaces contra bacterias, virus o parásitos patógenos (Callaway *et al.*, 2021).

Dos alternativas al uso de PCA han sido propuestas: la implementación de nuevas estrategias de manejo para incrementar el confort y el bienestar de los animales; y la utilización de otras sustancias con efectos similares al de los PCA sobre los parámetros productivos y de salud. Entre las alternativas como aditivos a los PCA están los acidificantes, enzimas exógenas, minerales y aditivos microbianos; sin embargo, los más estudiados y empleados en la nutrición animal son los probióticos, prebióticos y fitobióticos (Bedasso, 2021).

Probióticos

En el 2002, la FAO y la OMS definen a los probióticos como cepas vivas de microorganismos estrictamente seleccionados que, cuando se administran en cantidades adecuadas confieren un beneficio para la salud del huésped (FAO, 2002).

El término probiótico está reservado para fórmulas o productos que cumplen con algunos criterios estrictamente definidos. Los más importantes de estos criterios son: el recuento apropiado de células viables, efecto beneficioso en la salud del huésped y un efecto

beneficioso en la función del tracto intestinal. El modo de acción de los probióticos como aditivos no se entiende completamente; sin embargo, al adherirse al tracto intestinal, los organismos probióticos pueden sobrevivir a condiciones difíciles y ofrecer un efecto beneficioso en la estabilidad y protección del ecosistema intestinal. También influyen en el curso de los procesos digestivos, metabólicos y a la respuesta inmunológica (Markowiak y Śliżewska, 2018).

Los resultados sobre el efecto de la administración de probióticos en corderos sobre el comportamiento productivo, rendimientos y características de la canal son inconsistentes; esto podría estar relacionado con el tipo y nivel de probióticos utilizados; además, por la composición de los ingredientes de las dietas experimentales y la etapa fisiológica del animal en el momento que se empleen los probióticos (Khalid *et al.*, 2011; Saleem *et al.*, 2017).

Algunas investigaciones sugieren que la suplementación dietética con probióticos en corderos en etapa de finalización es una alternativa prometedora para promover la microbiota intestinal, al tiempo que se mejoran algunos atributos fisicoquímicos como la terneza y sabor de la carne (Liu *et al.*, 2022); de igual manera, la suplementación dietética de *Baccillus licheniformis*, *B. subtilis* y *Saccharomuces cerevisiae* como aditivo probiótico en corderos Ossimi mejoran el comportamiento productivo y el estado de salud de los corderos, obteniendo ingresos económicos adecuados para el productor (Mousa *et al.*, 2022).

Prebióticos

Gibson y Roberfroid (1995) definen a los prebióticos como ingredientes alimentarios no digeribles que afectan beneficiosamente al huésped, estimulando selectivamente el crecimiento y la actividad de una o un número limitado de especies bacterianas que ya residen en el colon, por lo tanto, intentan mejorar el comportamiento y la salud del huésped. Existen cientos de compuestos con interés potencial; sin embargo, la mayoría de los prebióticos son hidratos de carbono: los más usados en animales pertenecen a los oligosacáridos.

La ingesta de inulina como fuente prebiótica en corderos puede modular significativamente la microbiota del colon al reducir la incidencia de coliformes; por ende, una disminución en la presencia de diarreas y así, obtener un mejor comportamiento productivo por la respuesta a la mejora intestinal (Ayala-Monter *et al.*, 2019).

En la nutrición animal, también se utilizan fórmulas que contienen probióticos y prebióticos. Gibson y Roberfroid (1995) especifican al término "*simbiótico*" como la mezcla de probióticos y prebióticos que afectan positivamente al huésped, mejorando la supervivencia e implantación de suplementos dietéticos microbianos vivos en el tracto gastrointestinal, estimulando selectivamente el crecimiento y activando el metabolismo de una o un número limitado de bacterias y así mejorar el bienestar del huésped. Esto implica que el término debe reservarse para aquellos productos en los que un componente prebiótico favorece selectivamente a un microorganismo probiótico.

El objetivo principal de ese tipo de combinación es mejorar la supervivencia de los microorganismos probióticos en el tracto gastrointestinal. Los simbióticos tienen

propiedades probióticas y prebióticas, y se crearon para superar algunas dificultades en la supervivencia de los probióticos en el tracto gastrointestinal. Por lo tanto, una combinación adecuada de ambos componentes en un producto único debería garantizar un efecto superior, en comparación con la actividad del probiótico o prebiótico por sí solos. Teniendo en cuenta un gran número de posibles combinaciones, la aplicación de simbióticos para la modulación de la microbiota intestinal en animales parece prometedora (Markowiak y Ślizewska, 2018).

La suplementación de forma simbiótica en corderos de engorda en condiciones climáticas subtropicales puede ayudar a reducir los efectos negativos de la alta carga de calor ambiental en la utilización de la energía dietética. Por lo tanto, los corderos que recibieron probióticos con prebióticos tuvieron una mayor eficiencia de ganancia y relación entre la energía neta de la dieta observada y la esperada, con efectos mínimos en las características de la canal, los cortes enteros y la masa visceral. En condiciones subtropicales, los prebióticos demostraron ser más eficaces que los probióticos; sin embargo, en forma de simbiosis provocó una mayor respuesta en el comportamiento productivo (Estrada-Angulo *et al.*, 2021).

Fitobióticos

Kuralkar y Kuralkar (2021) definen a los fitobióticos como compuestos bioactivos que se derivan de plantas con efectos positivos sobre el crecimiento y la salud de los animales. Se incorporan como aceites esenciales, extractos botánicos, extractos de hierbas o como una fórmula polihierbal (FPH). Además, estos productos naturales de origen vegetal en ciertas dosis son menos tóxicos, libres de residuos, no contaminan el medio ambiente,

en comparación con los antibióticos sintéticos o los químicos inorgánicos, por lo tanto, se recomienda su utilización como una alternativa al uso de antibióticos.

Durante las últimas décadas, las FPH se utilizan ampliamente como una alternativa innovadora a los antibióticos, debido a sus potenciales beneficios en la nutrición de los animales, p. ej. un mayor consumo de alimento, estimulación de la ingesta, mayor crecimiento y desarrollo, menor incidencia de enfermedades, mejora en los parámetros reproductivos, mejora de la eficiencia de alimentación, aumento de la rentabilidad y reducción de emisiones de gases por parte de la ganadería (Dinodiya *et al.*, 2015; Chaturdevi *et al.*, 2016; Lei *et al.*, 2018; Razo *et al.*, 2020).

Clasificación de los fitobióticos

La gran variedad de compuestos vegetales utilizados como FPH se clasifican según su origen y procesamiento en: hierbas, plantas con flores y herbáceas; especias, hierbas de olor y sabor intensos comúnmente agregados para condimentar alimentos para humanos; aceites esenciales, compuestos lipofílicos volátiles obtenidos mediante destilación a vapor o alcohol; y oleorresinas, extractos obtenidos con solventes no acuosos (Tsiplakou *et al.*, 2021).

Los aditivos herbales también se pueden clasificar según la parte que se usa: toda la planta, raíz, tallo, corteza, hoja, flores, fruta y semilla; hábito de crecimiento, gramíneas, hierbas, arbustos, trepadoras y árboles; su hábitat: tropical, subtropical y templado (Windisch y Kroismayr, 2006). De igual manera, por su valor terapéutico: antibacterianos, antifúngicos, antiinflamatorios, antiulcerosos, antioxidantes, antivirales,

anticancerígenos, inmunoestimuladores; o las vías de administración, maceración, jarabe, inhalación y tisanas (Hashemi y Davoodi, 2011).

Metabolitos secundarios de las plantas

Las plantas producen una amplia y diversa variedad de compuestos orgánicos, la gran mayoría de ellos no participan directamente en el crecimiento, desarrollo o reproducción de la planta. Estas sustancias, tradicionalmente conocidas como metabolitos secundarios, a menudo se distribuyen de forma diferencial en todo el organismo. Los metabolitos tienen varias funciones, incluyendo la estructura, señalización, efectos estimulantes e inhibitorios sobre las enzimas, actividad catalítica, defensa e interacciones con otros organismos. Estos compuestos a menudo se producen en una fase posterior al crecimiento, por lo tanto, no tienen función alguna en el desarrollo de la planta; sin embargo, pueden tener función de supervivencia. A diferencia de los metabolitos primarios, la ausencia de metabolitos secundarios no resulta en la muerte inmediata, sino más bien en un deterioro a largo plazo en la supervivencia, fecundidad o estética del organismo (Tiwari y Rana, 2015).

Las plantas se caracterizan por una serie de propiedades medicinales que no pueden ser reemplazadas por completo por los aditivos sintéticos. Estos son principalmente los metabolitos secundarios de las plantas, como terpenos, taninos, saponinas, flavonoides, etc. Estas moléculas biológicamente activas se utilizan como posibles potenciadores en la productividad de los animales y como alternativas a los antibióticos, debido a sus amplias propiedades antimicrobianas, antiparasitarias, antioxidantes, antiinflamatorias y estimulantes de la inmunidad (Bakowski y Kiczorowska, 2021).

Los metabolitos secundarios contenidos en las plantas son absorbidos de manera más eficiente por el animal y tienen un efecto más favorable. El efecto terapéutico depende principalmente del tipo, calidad, forma física y el tiempo de aplicación del fitobiótico. Los metabolitos secundarios se acumulan en varias partes de las plantas y en etapas específicas del desarrollo de las plantas; por lo tanto, el valor de los compuestos herbales, depende de la concentración de metabolitos secundarios (Bakowski y Kiczorowska, 2021).

Terpenos

Los terpenos son el grupo más grande y diverso de compuestos naturales que se encuentran en las plantas. Son responsables del olor, sabor y pigmento de las plantas. Se clasifican en función de la organización y el número de unidades de isopreno que contienen. Tienen muchas funciones en las plantas, como termoprotector, aplicaciones de señalización, aportan propiedades de pigmentación y saborizante; pero su principal empleo es en usos medicinales (Cox-Georgian *et al.*, 2018).

Mao *et al.* (2019) mencionan al jengibre (*Zingiber officinale*) como fuente de compuestos bioactivos, p. ej. terpenos y fenoles; además, dichos compuestos proporcionan múltiples actividades biológicas como: antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, anticancerígenas, neuroprotectoras, cardiovasculares, protectoras respiratorias, antidiabéticas y antieméticas. De igual manera, Abdullah *et al.* (2020) encontraron mediante el análisis de cromatografía de gases-masa que el ajwain (*Trachyspermum ammi*) es rico en terpenos. Las actividades biológicas de cada uno de los compuestos

identificados en el ajwain van desde antimicrobianos, antioxidantes, antiinflamatorios, antitumorales y anticancerígenos.

En ovinos, Adenji *et al.* (2017) reportaron una actividad antiparasitaria contra helmintos y coccidios intestinales, por lo tanto, consideran al jengibre como una alternativa natural a los desparasitantes sintéticos. Por otra parte, Ammar y Al-Hafz (2019) observaron un aumento significativo en la producción semanal y mensual de leche al adicionar de 20 a 30 g de jengibre en la dieta de ovejas Awassi; sin embargo, no se presentaron diferencias en la composición química de la leche.

Fenoles

Los compuestos fenólicos se caracterizan por tener al menos un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo, y se pueden clasificar en función de su origen biosintético. Se sintetizan a partir de la polimerización de unidades de acetil-CoA y se agrupan de acuerdo con el número de unidades de acetato como: tetrapéptidos, pentapéptidos, decapéptidos y otros (Bodas *et al.*, 2012).

Podolska *et al.* (2021) demostraron que *Fagopyrum esculentum* es abundante en compuestos fenólicos y proporciones considerables de minerales. Se ha observado que la suplementación de *Fagopyrum esculentum* en la dieta de ovinos funge como mejorador de la palatabilidad del alimento, provocando un mayor consumo de materia seca y, por lo tanto, una mayor ganancia diaria de peso. Además, se favorecen algunas características de la canal al reducir el estrés oxidativo y aumentar la capacidad de retención de agua de la carne (Zhao *et al.*, 2017; Mu *et al.*, 2019).

Flavonoides

Los flavonoides son una clase de compuestos polifenólicos que contienen 15 carbonos con dos anillos aromáticos conectados por un puente de tres carbonos. Estos compuestos secundarios son los más numerosos y se encuentran en todo el reino vegetal, están presentes en altas concentraciones en la epidermis de las hojas y cáscaras de las frutas. Los flavonoides tienen diferentes funciones: actúan en la regulación del metabolismo primario, proporcionan colores atractivos a las flores que ayudan a la polinización y poseen propiedades antimicrobianas (Serra *et al.*, 2021). Las plantas que contienen flavonoides reducen la producción de metano y estimulan el metabolismo microbiano del rumen (Bodas *et al.*, 2012).

De acuerdo con Vlaicu *et al.* (2022) el tomillo (*Thymus vulgaris*) es rico en flavonoides, luteína, zeaxantina y vitamina E; además, contiene cantidades considerables de ácidos grasos poliinsaturados. De forma *in vitro*, la adición de tomillo en líquido ruminal tuvo un efecto positivo al potencializar la fermentación ruminal y la producción de gas; además, redujo la concentración de NH₃-N sin efecto negativo en la digestibilidad de los nutrientes (Khattab *et al.*, 2019).

En codornices, Kheiri *et al.* (2018) observaron que al adicionar tomillo y ajwain como fuente de flavonoides en la dieta se presentaron efectos positivos sobre parámetros sanguíneos; sin embargo, no hubo mejoras en el comportamiento productivo. Los autores relacionan este comportamiento a que los efectos como promotores de crecimiento de los compuestos herbales en aves se notan más cuando se alimentan a las aves con dietas no tan digestibles.

Taninos

Los taninos son un grupo de compuestos polifenólicos presentes en una amplia variedad de plantas, que se pueden agrupar en taninos hidrolizables y taninos condensados, esto depende en función de su estructura química (Yáñez-Ruiz y Belanche, 2020). Los taninos producen efectos positivos en los rumiantes debido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiparasitarias, inmunomoduladoras, insecticidas, larvicidas, repelentes, anticancerígenas y antiinflamatorias (Orzuna-Orzuna *et al.*, 2021c; Orzuna-Orzuna *et al.*, 2021d)

Se ha observado que los compuestos bioactivos de mayor presencia en *Curcuma longa* son taninos, flavonoides y alcaloides (Murthy y Paek, 2021). La suplementación dietética de 300 mg kg⁻¹ de curcumina (compuesto activo de *C. longa*) en el concentrado de corderos aumentó el peso diario, mejorando el comportamiento productivo. Además, se observó que dicha inclusión disminuye el contenido total de ácidos grasos saturados y aumenta el contenido de ácidos grasos poliinsaturados en la carne (Marcon *et al.*, 2020; Jaguzeski *et al.*, 2018).

De igual manera, Molosse *et al.* (2019) observaron que la adición de curcumina en la dieta de corderos aumentó los niveles totales de antioxidantes y ejerció una acción antiinflamatoria, así como alteró la actividad de las enzimas involucradas en el metabolismo del trifosfato de adenosina (ATP), que puede haber contribuido al aumento de peso corporal. Por lo tanto, la suplementación con curcumina en el concentrado de corderos lactantes puede ser un enfoque interesante para mejorar la salud animal.

Sultan (2022) demostró que la adición de 300 mg kg⁻¹ de *Curcuma longa* en la ración de corderos Awassi aumentó el peso corporal, y una mejora de la calidad de la carne, al presentar mayor peso de la canal y aumento del porcentaje magro.

Alcaloides

Los alcaloides son compuestos de origen natural sintetizados a partir de aminoácidos. Sin embargo, los alcaloides representan uno de los grupos más grandes de compuestos naturales y a menudo desempeñan un papel vital en la defensa de las plantas. Estos compuestos tienen importantes funciones ecológicas, proporcionando protección, proporcionan pigmento y aromatizante a las plantas que sirven como atrayentes para polinizadores y agentes de dispersión de semillas (Artuso-Ponte *et al.*, 2020).

Al realizar la detección fitoquímica de extractos de pimienta negra (*Piper nigrum*) revelaron la presencia de metabolitos secundarios, incluidos alcaloides, terpenos, flavonoides, taninos y antraquinonas (Takooree *et al.*, 2019).

Trabajos realizados por de Oliveia *et al.* (2022) observaron que dosis de 200 mg/kg de pimienta negra en el concentrado de corderos estimula la ingesta y, por lo tanto, favoreció el aumento diario de peso. Sin embargo, al realizar el análisis de regresión mostró que el punto óptimo para la suplementación con pimienta negra debe ser de 301.5 mg kg⁻¹. El consumo de extracto de pimienta negra también redujo los niveles de radicales libres al final del experimento y estimuló la producción de glóbulos blancos (linfocitos y neutrófilos) y la concentración de globulinas en el suero sanguíneo de corderos lactantes, mejorando la salud de los animales.

Antraquinonas

Las antraquinonas son metabolitos secundarios presentes en las plantas. Sus efectos farmacológicos van desde propiedades como antitumorales, antiinflamatorios, antioxidantes, antiosteoporosis, antidepresivos y anticancerígenos (Li y Jiang, 2018). Estos compuestos se encuentran en todas las partes de las plantas: raíces, rizomas, frutas y flores (Díaz-Muñoz *et al.*, 2018). *Rheum emodi* es una hierba perenne y considerada planta medicinal, con presencia de antraquinonas y flavonoides como sus principales compuestos bioactivos y, además, con alta capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana (Malik *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2020; Park y Lee, 2021).

Modos de acción de los fitobióticos

El modo de acción de la mayoría de las FPH todavía no se entiende completamente; esto se debe al tipo de metabolito secundario que está presente, la concentración, dosis e interacción con la dieta base de los animales; sin embargo, el principal modo de acción de las FPH es a través de beneficiar al ecosistema de la microbiota gastrointestinal mediante el control de patógenos potenciales. La mejora de la capacidad digestiva en el intestino delgado puede considerarse un efecto secundario de la estabilización fitobiótica sobre el equilibrio microbiano en el intestino. En consecuencia, las FPH fortalecen la defensa inmune de los animales durante situaciones de estrés y aumentan la disponibilidad intestinal de nutrientes esenciales para la absorción, lo que ayuda a los animales a aumentar el crecimiento de su potencial genético (Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2017).

La razón de la mejora en la absorción de nutrientes puede explicarse en parte debido a la estimulación en las secreciones de saliva, bilis y aumento de la actividad enzimática. En consecuencia, se presenta una mejor digestibilidad de los nutrientes y así una mejora del estado de salud de los animales (Mandey y Sompie, 2021).

Los beneficios del uso de los compuestos herbales en la nutrición avícola son el aumento de la ingesta de alimento, la estimulación de la digestión, el aumento del rendimiento del crecimiento, la reducción de la incidencia de enfermedades, la mejora de los parámetros reproductivos, la eficiencia de la alimentación y la rentabilidad (Mandey y Sompie, 2021).

Efectos sobre la calidad del producto final

Por otra parte, el interés de la industria ganadera no solo es en la eficiencia del uso del alimento para un mayor comportamiento productivo, sino también en la calidad del producto destinado al mercado. La calidad de la carne se compone de varios rasgos, incluidos los atributos fisicoquímicos (terneza, color, contenido de grasa intramuscular y la capacidad de retención de agua) y factores que afectan la palatabilidad (sabor y olor), además de las características de inocuidad, las cuales influyen en la toma de decisión del cliente al elegir un tipo de corte (Arce-Recinos *et al.*, 2021).

La presencia de compuestos antioxidantes en la dieta de corderos por la inclusión de hojas de *Thymus vulgaris* redujo el deterioro del color, la oxidación de lípidos y los recuentos bacterianos, al mismo tiempo que se presenta una mejor apariencia de la carne. Teniendo en cuenta lo anterior, parece ser que la adición de tomillo en la dieta puede considerarse como una alternativa al uso de aditivos sintéticos en la alimentación

para así poder mejorar aspectos sensoriales del producto final (Nieto *et al.*, 2010; Nieto *et al.*, 2012).

De igual manera, Vlaicu *et al.* (2022) observaron que la aplicación de tomillo como aditivo natural en la dieta de pollos es eficaz para mejorar la calidad de la carne, desde la perspectiva del consumo humano, debido a que la proporción de ácidos grasos poliinsaturados, la relación de omegas-6/omegas-3 y la proporción de ácidos grasos poliinsaturados/ácidos grasos saturados del muslo mejoraron significativamente.

En carne de cerdo, Mancini *et al.* (2019) destacaron que el uso de jengibre presenta un aumento en la capacidad antioxidante y la reducción de la oxidación lipídica de la carne; además, se obtuvieron productos más saludables debido a que se observó un incremento de los porcentajes de omegas-3 y omegas-6, y una reducción de los ácidos grasos saturados.

Limitantes de los aditivos fitobióticos

La variabilidad en la composición química, minerales, compuestos antioxidantes y ácidos grasos en los compuestos herbales es una limitante al uso de los aditivos fitobióticos. Esta variabilidad se puede atribuir al momento de la cosecha, el genotipo, zona climática, condiciones de almacenamiento, temperatura, luz, tipo y propiedades del suelo, la irradiación de luz, el riego, los fertilizantes y otras condiciones, lo que podría conducir a diferentes resultados cuando se administra en la nutrición animal (de la Rosa *et al.*, 2019).

Por lo tanto, la eficiencia de la administración de compuestos herbales depende de varios factores, como la composición y el nivel de inclusión de los compuestos herbales, la genética de los animales y la composición general de la dieta (Odhaib *et al.*, 2021).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio, diseño experimental y tratamientos

La investigación se realizó en la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en Montecillo, Estado de México (19° 28' 4.26" N, 98° 53' 42.18" O y 2250 msnm). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación anual de 645 mm y temperatura media anual de 15 °C (García, 2004). El protocolo experimental se sujetó a la Ley Federal de Sanidad Animal y la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014.

Cuarenta corderos Dorset × Suffolk, de 4 meses de edad y de 25.35 ± 0.20 kg PV, recibieron tratamiento profiláctico previo al periodo experimental, que consistió en la aplicación de desparasitante (Closantel y sulfóxido de albendazol, 1 mL por 5 kg^{-1} de peso vivo de Koptisine ovine[®]), vitaminas ADE (Vigantol ADE[®], 2 mL animal) y bacterina (2.5 mL/animal⁻¹ de Bobact 8[®]).

Características de la fórmula polihierbal (FPH)

La FPH evaluada fue Herbiotic FS[®] (Nuproxa S. de R.L. de C.V. Querétaro, México) la cual está compuesta por partes de plantas de *Curcuma longa*, *Piper nigrum* L, *Zingiber officinale*, *Trachyspermum amin*, *Rheum emodii*, *Thymus vulgaris* L y *Fagopyrum esculentum* (Dinodiya *et al.*, 2015; Lei *et al.*, 2018). *Curcuma longa* contiene taninos y flavonoides que fungen como antioxidantes, antimicrobianos, antiparasitarios y gastro protectores (Murthy y Paek, 2021); *Piper nigrum* L contiene alcaloides con propiedades antioxidantes y moduladores intestinales (Takooree *et al.*, 2019); *Zingiber officinale* como fuente de terpenos y fenoles, actuando principalmente como antimicrobianos y

antioxidantes (Mao *et al.*, 2019); *Trachyspermum amin* contiene terpenos con actividad antimicrobiana, antiinflamatoria y como estimulante del apetito (Abdullah *et al.*, 2020); *Rheum emodi* como fuente de antraquinonas con propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Park y Lee, 2021); *Thymus vulgaris* L como fuente de flavonoides y vitamina E, ambas con actividad antioxidante (Vlaicu *et al.*, 2022); y *Fagopyrum esculentum* contiene fenoles con propiedades antioxidantes (Podolska *et al.*, 2021).

Manejo nutricional

La dieta basal (cuadro 1) se formuló con base a los requerimientos establecidos por el NRC (2007). La FPH se incorporó gradualmente en la dieta de acuerdo a cada tratamiento (testigo, FPH-0.20, FPH-0.40 y FPH-0.60 g kg⁻¹, respectivamente). Los corderos fueron adaptados a la dieta testigo durante 15 días previos al inicio de la fase experimental. Posteriormente, el alimento de cada tratamiento se ofreció por un periodo de 59 días, dos veces al día, 07:00 y 15:00 h, en una proporción de 60 y 40% respectivamente, asegurándose que hubiera un rechazo del 10 al 15 % de alimento diario para garantizar una alimentación *ad libitum*; de igual manera, hubo libre acceso al agua.

Para el análisis químico del alimento se determinó materia seca, proteína cruda, cenizas (AOAC, 2005), y fibra detergente neutro y ácido (Van Soest *et al.*, 1991).

Comportamiento productivo

El consumo diario de materia seca (CMS) se calculó mediante la diferencia entre el peso del alimento ofrecido y el del alimento rechazado. Los animales se pesaron al inicio y final del experimento y con base a ello, se estimaron las ganancias diarias de peso (GDP). La conversión alimenticia (CAA) se calculó como la relación entre la cantidad de

alimento consumido por día y la ganancia diaria de peso. El grosor de grasa dorsal (GGD) y área del músculo *longissimus dorsi* (AM), se midieron entre la 12^a y 13^a costilla al término de la fase experimental, mediante un ultrasonido (Sonovet 600, Universal Medical System, Inc., con un transductor transrectal de 7.5 Mhz) (Delfa *et al.*, 1995).

Cuadro 1. Composición y análisis bromatológico de las dietas experimentales.

	FPH (g kg ⁻¹ BS)			
	0.00	0.20	0.40	0.60
Ingredientes (%)				
Maíz amarillo	56.55	56.57	56.60	56.62
Pasta de soya	17.45	17.46	17.48	17.50
Avena henificada	10.51	10.27	10.03	9.79
Alfalfa henificada	10.00	10.00	10.00	10.00
Melaza de caña	4.00	4.00	4.00	4.00
Minerales*	1.00	1.00	1.00	1.00
CaCO ₃	0.39	0.39	0.39	0.40
Sal común	0.10	0.10	0.10	0.10
Composición química				
EM (Mcal kg ⁻¹) **	2.83	2.83	2.82	2.82
Proteína (%)	15.50	15.48	15.63	15.32
Ca (%)	0.70	0.73	0.71	0.69
P (%)	0.31	0.31	0.30	0.32
FDA (mg kg ⁻¹)	32	33	32	34
FDN (mg kg ⁻¹)	45	47	46	45

*Mezcla mineral (Superbayphos® Bayer): 12, 10, 0.50, 0.15, 0.12, 0.10, 0.055, 0.050, 0.020 % y 200 p.p.b. de Ca, P, Fe, Cu, Zn, Mg, Mn, Co, I y Se, mg kg⁻¹ respectivamente; 500000 UI/kg de vitamina A;

**EM, Energía Metabolizable estimada.

Para determinar la calidad de la carne se obtuvieron muestras al término de la fase experimental. Los corderos fueron sacrificados con base en los lineamientos que establece la Norma Oficial Mexicana (NOM-033-SAG/ZOO-2014), e inmediatamente se colectaron muestras del músculo *longissimus dorsi* provenientes de seis corderos por tratamiento; posteriormente, las muestras se colocaron en bolsas de polietileno con cierre hermético, y se conservaron en una cámara frigorífica a una temperatura de -20 °C. Las regiones corporales (cabeza, piel, extremidades distales, sangre, testículos,

vísceras rojas y verdes y vísceras verdes vacías) se separaron para obtener el peso de canal caliente (PCC). Se registró inmediatamente el pH y temperatura de las canales (pH Hanna® Modelo HI 98127, Waterproof Tester, Woonsocket, RI, USA). Las canales se conservaron a 4°C en una cámara frigorífica (TORREY, Mod. CFM-A), y transcurridas 24 h, se obtuvo el peso de la canal fría (PCF), registrándose nuevamente las lecturas de pH y temperatura. Los rendimientos en canal se estimaron con base en las siguientes fórmulas: Rendimiento en canal caliente (RCC) = (PCC/PVS) × 100, Rendimiento en canal fría (RCF) = (PCF/PVS) × 100.

Análisis de laboratorio

Características físico químicas de la carne. El contenido de humedad, proteína, extracto etéreo y colágeno se determinó utilizando un espectrofotómetro infrarrojo FOSS FOODSCAN™ mediante la técnica descrita por Anderson (2007). El color se midió en seis muestras de carne por tratamiento a las 24 h y al octavo día *postmortem* con un colorímetro Konica Minolta (Chroma Meter CR-410, Tokio, Japón). Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno con cierre hermético, y se conservaron en refrigeración a 4° C; en cada ocasión, se tomaron cuatro lecturas (girándola 90°) de cada muestra, registrando los valores de *L, *a y *b, que representan luminosidad, índice de rojo e índice de amarillo, respectivamente. La capacidad de retención de agua (CRA) del músculo *longissimus dorsi* se determinó mediante la técnica de centrifuga (Leal-Gutiérrez y Jiménez-Robayo, 2015). La fuerza al corte de la carne (FCC) en el músculo *longissimus dorsi* se midió con un analizador de textura (TA.XT plusC, EE. UU.) y una navaja Warner Bratzler para carne, en la muestra del músculo que se obtuvo con un sacabocados de acero inoxidable de 1 cm de diámetro de luz y 8 cm de longitud.

Capacidad antioxidante (CA). En los días 30 y 59 del experimento, se colectó una muestra de sangre de todos los corderos mediante punción de la vena yugular para la obtención de plasma sanguíneo. La muestra se depositó en tubos con Anticoagulante BD Vacutainer® K2 EDTA (Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, NJ, EE. UU.). Las muestras se centrifugaron (Sigma 2-16 k, Alemania) a 908 g por 20 min. El plasma obtenido se colocó en tubos Eppendorf (Sanyo MDF-436, EE. UU.) y fue almacenado a una temperatura de -74 °C en un ultra congelador (Thermo Scientific™ 88000, EE. UU.) hasta su análisis. La capacidad antioxidante se midió usando la técnica FRAP (poder antioxidante de reducción férrica) de Benzie y Strain (1996).

Química sanguínea. Para determinar metabolitos séricos, el día 59 del experimento, se colectaron 5 mL de sangre de cada cordero mediante punción de la vena yugular. La muestra de sangre se tomó en tubos BD Vacutainer® sin anticoagulante (Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, NJ, EE. UU.) y los tubos se centrifugaron (Sigma 2-16 k, Alemania) a 908 g durante 20 min para obtener suero sanguíneo, que se almacenó en tubos de Eppendorf a -20 °C (Sanyo MDF-436, EE. UU.). Posteriormente, el suero sanguíneo se analizó con un auto analizador (KontroLab QS EasyVet, México) para determinar el contenido de glucosa, urea, ácido úrico, colesterol y proteína total.

Ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal. Se realizó mediante la técnica descrita por Erwin *et al.* (1961). El líquido ruminal recolectado al momento del sacrificio fue filtrado con cuatro capas de manta de cielo, vertiéndose 4 mL del filtrado en un tubo con ácido metafosfórico al 25%, en una relación 4:1. Las muestras se analizaron en un cromatógrafo de gases (HP6890, USA), con una columna capilar HP- FFAP 19091F-433 (Agilent, USA), (100 m × 0.25 mm × 0.2 µm). Se utilizó nitrógeno como gas acarreador,

flujo de hidrógeno de 33 mL min⁻¹, el flujo de aire de 330 mL min⁻¹. Se utilizó nitrógeno como *Make up* (14 mL min⁻¹). La temperatura del inyector fue de 230 °C y del detector 240 °C. Las condiciones del horno fueron: Rampa 1, velocidad de 65 °C min⁻¹, temperatura de 95 °C y tiempo de 0.15 min. Rampa 2: velocidad de 15 °C min⁻¹, temperatura de 145 °C y tiempo de 6 min, con una corrida total de 9.94 min.

El nitrógeno amoniacal se determinó mediante la técnica de McCullough (1967), y las muestras se midieron en un espectrofotómetro modelo CARY 1E (Varian, USA) a 630 nm.

Perfil de ácidos grasos de cadena larga (AGCL). Los lípidos del músculo *longissimus dorssi* se extrajeron mediante la técnica de Palmquist y Jenkins (2003) con modificaciones de Jenkins (2010) en 0.5 g de carne liofilizada. Para la liofilización se utilizó una liofilizadora (LABCONCO, USA), en condiciones de 0.17 mBar a una temperatura de - 49 °C. Los esteres metílicos de los ácidos grasos obtenidos se inyectaron (1 µL) en modo dividido (1:10) en un cromatógrafo de gas (HP6890, USA) con inyector automático (G2613A, USA). El cromatógrafo estaba equipado con un detector de ionización de flama (GC-FID, USA) y una columna GC (SUPELCO SPTM 2560, USA) (100 m × 0.25 mm × 0.20 µm). La temperatura de la columna se mantuvo a 140 °C durante 2.95 min, después de lo cual la temperatura se aumentó a 210 °C a una velocidad de 3 °C min⁻¹, seguida de un aumento a 0.7 °C min⁻¹ a 235 °C. Las temperaturas del puerto de inyección fueron de 250 °C y del detector 260 °C. Los esteres metílicos de los ácidos grasos se identificaron en comparación con el certificado estándar FAME Mix 18919 (SUPELCO, USA). Los resultados se expresaron como el porcentaje del área total de los cromatogramas.

Análisis estadístico

Con los datos se realizó un ANOVA mediante el procedimiento GLM (SAS, 2017); en primer lugar, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para probar la normalidad de los datos de cada variable. Se utilizó un diseño completamente al azar en el que cada cordero se consideraba una unidad experimental. Posteriormente, se analizaron los datos con el siguiente modelo estadístico: $Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{ij}$, en el que: μ es el valor de la media estadística, T_i es el efecto fijo de los tratamientos y e_{ij} es el término de error estándar. Las medias de los tratamientos se compararon utilizando la prueba de Tukey; se consideraron diferencias significativas cuando $P \leq 0.05$.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL

La incorporación de la FPH en la dieta no modificó ($P \geq 0.05$) ninguna variable productiva, concentración de AGVS y nitrógeno amoniacal del líquido ruminal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento productivo, concentración de ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal en rumen de corderos[†] suplementados con cuatro dosis de una fórmula polihierbal.

	FPH (g kg ⁻¹ BS)				EEM	P
	0.00	0.20	0.40	0.60		
Peso Inicial	25.57	25.46	25.35	25.34	0.62	0.99
Peso Final	41.77	41.87	42.98	41.73	1.61	0.93
CMS	1.50	1.52	1.53	1.51	0.05	0.99
GDP	0.27	0.27	0.29	0.27	0.02	0.90
CAA	5.81	5.74	5.39	5.73	0.40	0.88
GGD	3.6	3.2	3.5	3.5	0.15	0.32
AM	1200.1	1142.4	1187.3	1179.1	24.66	0.40
Fermentación ruminal						
pH	5.46	5.35	5.55	5.31	0.20	0.84
Acético (nmol L ⁻¹)	50.195	50.639	54.332	55.261	4.05	0.75
Propiónico (nmol L ⁻¹)	30.989	31.658	27.585	29.548	5.07	0.94
Butírico (nmol L ⁻¹)	15.504	12.217	14.063	11.264	2.63	0.67
Valérico (nmol L ⁻¹)	1.703	2.809	1.847	1.796	0.39	0.20
Isovalérico (nmol L ⁻¹)	0.845	1.887	1.233	1.301	0.46	0.47
Isobutirico (nmol L ⁻¹)	0.760	0.787	0.936	0.827	0.17	0.89
NA (mg dL ⁻¹)	13.651	15.649	17.231	14.627	4.07	0.93

[†]n=10 por tratamiento; CMS, consumo de materia seca (kg); GDP, ganancia diaria de peso (kg); CAA, conversión alimenticia; GGD, grosor de grasa dorsal (mm); AM, área del músculo (mm²); NA, Nitrógeno Amoniacal; EEM, Error estándar de la media.

Por otro lado, las características y rendimientos de la canal tampoco mostraron cambios entre tratamientos ($P \geq 0.05$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento de la canal de corderos[†] suplementados con cuatro dosis de una fórmula polihierbal.

	FPH (g kg ⁻¹ BS)				EEM	P
	0.00	0.20	0.40	0.60		
	kg					
PVS	41.93	42.13	43.09	41.68	1.66	0.93
PCC	21.67	21.21	21.74	21.12	0.76	0.91
PCF	21.07	20.58	21.08	20.69	0.71	0.94
	%					
RCC	51.75	50.33	50.56	50.72	0.62	0.41
RCF	50.26	48.88	49.07	49.71	0.62	0.40

[†]n=6 por tratamiento; PVS, peso vivo al sacrificio; PVV, peso vivo vacío; PCC, peso de canal caliente; PCF, peso de canal fría; RCC, rendimiento canal caliente; RCF, rendimiento canal fría; EEM, Error estándar de la media.

No se observaron cambios ($P \geq 0.05$) en el pH de la carne y color; sin embargo, la CRA y la FCC fueron diferentes ($P \leq 0.05$) entre tratamientos a medida que aumentaba la dosis de la FPH (Cuadro 4).

Cuadro 4. Características físico químicas de la carne (*longissimus dorsi*)[†] de corderos suplementados con cuatro dosis de una fórmula polihierbal.

	FPH (g kg ⁻¹ BS)				EEM	P
	0.00	0.20	0.40	0.60		
pH						
0 h <i>postmortem</i>	6.85	6.53	6.48	6.59	0.10	0.09
24 h <i>postmortem</i>	5.78	5.76	5.76	5.78	0.02	0.77
Color						
*L Día 1	35.38	35.04	34.93	35.88	1.02	0.91
Día 8	33.29	34.27	34.09	34.56	0.73	0.65
*a Día 1	15.10	15.12	15.70	15.78	0.46	0.61
Día 8	14.83	12.15	13.75	13.42	0.72	0.10
*b Día 1	4.11	4.02	3.98	4.26	0.58	0.98
Día 8	2.97	3.54	3.80	3.45	0.30	0.31
CRA (%)	20.44 ^a	13.67 ^b	12.16 ^b	20.50 ^a	1.29	0.0001
FCC (g cm ⁻²)	1562.33 ^b	2092.58 ^a	1385.35 ^b	1643.48 ^{ab}	131.27	0.0077

[†]n=6 por tratamiento; CRA, Capacidad de retención de agua; *L, Luminosidad; *a, Índice rojo de la carne; *b, Índice amarillo de la carne; FCC, fuerza de corte de la carne; EEM, Error estándar de la media.

En cuanto a la composición química de la carne, la adición de 0.20 g de la FPH kg⁻¹ presentó mayor ($P \leq 0.05$) porcentaje de proteína con respecto a la dieta testigo (Cuadro 5). El perfil de AGCL se vio únicamente afectado ($P \leq 0.05$) en el nivel de C20:5n3 por

los tratamientos FPH-0.40 y FPH-0.60 con respecto al perfil del grupo testigo y los corderos que recibieron 0.20 g de la FPH kg⁻¹; además, los niveles totales de AGS, AGMS y AGPS fueron diferentes ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

Cuadro 5. Composición química y perfil de ácidos grasos de cadena larga de la carne (*longissimus dorsi*)[†] de corderos suplementados con cuatro niveles de una fórmula polihierbal.

	FPH (g kg ⁻¹ BS)				EEM	P
	0.00	0.20	0.40	0.60		
Composición química de la carne (%)						
Humedad	70.68	70.55	70.70	70.81	0.52	0.98
Proteína	20.22 ^b	20.73 ^a	20.61 ^{ab}	20.49 ^{ab}	0.12	0.04
Extracto etéreo	7.04	7.60	6.85	6.60	0.54	0.61
Colágeno	1.75	1.64	1.59	1.52	0.06	0.10
Perfil de ácidos grasos de cadena larga						
C10:0	0.19	0.17	0.19	0.15	0.03	0.87
C14:0	2.98	2.69	2.57	2.90	0.23	0.58
C15:0	0.07	0.08	0.07	0.09	0.01	0.68
C16:0	26.26	26.11	25.98	26.22	0.61	0.98
C17:0	1.20	1.22	1.19	1.33	0.15	0.92
C18:0	14.39	13.00	13.98	13.74	0.44	0.19
Total AGS	45.12 ^d	43.88 ^a	44.00 ^b	44.46 ^c		0.0001
C14:1	0.14	0.16	0.17	0.16	0.01	0.58
C16:1	2.26	2.28	2.24	2.25	0.11	0.99
C17:1	0.79	0.97	0.91	0.95	0.09	0.56
C18:1n9t	3.72	3.98	3.42	3.28	0.42	0.66
C18:1n9c	38.95	40.33	40.37	40.33	0.76	0.49
C20:1	0.06	0.07	0.05	0.06	0.11	0.65
Total AGMS	45.94 ^a	47.81 ^d	47.18 ^c	47.06 ^b		0.0001
C18:2n6c	5.00	4.86	5.07	4.73	0.37	0.91
C18:3n3	0.23	0.24	0.26	0.24	0.01	0.73
C18:2c9t11	0.09	0.09	0.11	0.09	0.01	0.68
C20:4n6	0.95	0.80	1.22	1.03	0.13	0.22
C20:5n3	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.01 ^{ab}	0.005	0.0004
Total AGPS	7.54 ^c	7.22 ^a	8.06 ^d	7.36 ^b		0.0001

[†]n=6 por tratamiento; EEM, Error estándar de la media. Nota: ácido cáprico (C10:0); ácido mirístico (C14:0); ácido pentadecanoico (C15:0); ácido palmítico (C16:0); ácido heptadecanoico (C17:0); ácido esteárico (C18:0); ácidos grasos saturados (AGS); miristoleico (C14:1); ácido palmitoleico (C16:1); ácido cis-10-heptadecanoico (C17:1); sumatoria de isómeros C18:1 (C18:1n9t); ácido oleico (C18:1n9c); ácido cis-11-eicosenoico (C20:1); ácidos grasos monoinsaturados (AGMS); ácido linoleico (C18:2n6c); ácido linolenico (C18:3n3); ácido cis-9 trans-11 CLA (C18:2c9t11); ácido araquidónico (C20:4n6); ácido eicosapentaenoico (C20:5n3); ácidos grasos poliinsaturados (AGPS).

La capacidad antioxidante no presentó ($P \geq 0.05$) diferencias entre tratamientos (Cuadro 6) a los 30 y 59 días de la fase experimental en respuesta al aumento del nivel de la FPH en la dieta. Por otro lado, no hubo ($P \geq 0.05$) cambios en la concentración sérica de urea, ácido úrico, colesterol total, y proteínas totales. Sin embargo, los niveles de glucosa en suero fueron diferentes entre tratamientos ($P \leq 0.05$), disminuyendo en los tratamientos que se adicionaron 0.20 y 0.60 g de la FPH kg^{-1} , pero presentando un aumento al adicionar 0.40 g de la FPH kg^{-1} , con respecto al grupo testigo.

Cuadro 6. Capacidad antioxidante[†] y química sanguínea^{††} de corderos suplementados con cuatro dosis de una fórmula polihierbal.

	FPH (g kg^{-1} BS)				EEM	P
	0.00	0.20	0.40	0.60		
FRAP (nmol Trolox mL^{-1})						
Día 30	538.54	550.06	567.96	550.77	49.93	0.98
Día 59	616.31	564.06	549.71	572.21	44.37	0.76
Metabolitos séricos (mg dL^{-1})						
Glucosa	85.89 ^{ab}	84.18 ^b	94.86 ^a	82.41 ^b	2.26	0.0063
Urea	44.13	37.15	37.41	39.24	2.74	0.28
Ácido úrico	0.044	0.092	0.064	0.094	0.01	0.0525
Colesterol total	46.84	46.91	47.47	45.10	3.12	0.95
Proteínas totales (g dL^{-1})	6.946	7.228	6.918	7.092	0.19	0.66

[†] $n=10$ por tratamiento; ^{††} $n=5$ por tratamiento; EEM, Error estándar de la media.

Cuatro mecanismos de acción se proponen para las FPH, de acuerdo a los cambios observados en estudios realizados en animales y su respuesta como promotores de crecimiento, características de la canal y calidad de la carne o leche: 1) estimulador de consumo de alimento; 2) modulador de la fermentación ruminal; 3) mejorador de la digestión y absorción de nutrientes; y 4) promotor de crecimiento (Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2017).

De acuerdo a esto, en el presente estudio no se observó respuesta a la inclusión dietética de FPH como estimulante de apetito o modulador de la fermentación ruminal que pudiera

hacer diferencia en el comportamiento productivo, aun cuando la FPH mostró propiedades como promotor de crecimiento en otras especies (Dinodiya *et al.*, 2015; Lei *et al.*, 2018). Estos resultados coinciden con Orzuna-Orzuna *et al.* (2021a) al suplementar de 1 a 3 g kg⁻¹ a corderos de engorda con una FPH como fuente de saponinas por un periodo de 56 días. Esto sugiere que no todas las FPH modifican la tasa de crecimiento de los corderos cuando se administra durante periodos prolongados.

Sultan (2022) informó que la suplementación dietética de 300 mg kg⁻¹ de *Curcuma longa* en corderos de engorda modifica las características de la canal (CC), al obtener un aumento del peso de la canal y un mayor porcentaje magro. Sin embargo, las CC de los corderos del presente estudio no presentaron diferencias con la inclusión gradual de la FPH.

El valor de pH de la carne del músculo *longissimus dorsi* fue similar entre los tratamientos a las 0 y 24 h *postmortem*, con un rango de 5.76 a 5.78 a las 24 h. Estos resultados coinciden con trabajos realizados por Orzuna-Orzuna *et al.* (2021b); Lozano-Sánchez *et al.* (2021) y Dorantes-Iturbide *et al.* (2022) al incorporar una FPH en la dieta de corderos por un tiempo mayor a los 50 días de engorda. En el presente estudio los parámetros de color no presentaron cambios durante los periodos de evaluación; no obstante, están dentro de los estándares para carne de cordero (Ciliberti *et al.*, 2021). La diferencia en la CRA indica que los compuestos bioactivos de la FPH a una determinada dosis (0.20 o 0.40 g de FPH kg⁻¹) tienen efectos favorables, pero a dosis crecientes pueden no presentar efectos o pudieran ser perjudiciales. Aunque la adición de la FPH en la dieta de corderos estaba proyectada para beneficiar la terneza de la carne por el aporte de vitamina E de la FPH (Bellés *et al.*, 2018), los resultados obtenidos no favorecen la FCC

con respecto a los valores de los corderos del grupo testigo; a pesar de eso, los datos registrados en el presente estudio están dentro del intervalo o indican menor FCC en comparación a trabajos realizados por Lozano-Sánchez *et al.* (2021) y Orzuna-Orzuna *et al.* (2021a) al emplear en la dieta de corderos compuestos bioactivos como vitaminas y taninos, respectivamente.

Con respecto a la composición química de la carne, la inclusión de la FPH no modificó el porcentaje de humedad, grasa y colágeno. No obstante, el porcentaje de proteína se vio favorecido con el tratamiento FPH-0.20. Este comportamiento coincide con lo reportado por Dorantes-Iturbide *et al.* (2022), al incorporar (200 mg kg⁻¹) de una FPH que contiene taninos, flavonoides y aceites esenciales, la cual está compuesta por partes de *Ocimum sanctum* y *Andrographis paniculata* en la dieta de corderos Pelibuey x Katahdin, donde la composición química de la carne presentó una tendencia de aumento en la concentración de proteína y una disminución en la proporción de colágeno, comportamiento similar a la inclusión de FPH-0.20 en este experimento.

Resultados obtenidos por Cervantes-Valencia *et al.* (2016) mostraron que la administración (200 mg kg⁻¹) de *Curcuma longa* en el alimento para corderos tiene un efecto antiparasitario, antibacteriano y una reducción en el estrés oxidativo intestinal en corderos, lo cual favorece a una microbiota intestinal más saludable. La microbiota intestinal afecta indirectamente el comportamiento productivo y por supuesto, al perfil de AGCL, principalmente porque estimula la digestión y absorción de nutrientes (Jachimowicz *et al.*, 2022). Aunque no se dispone de la información sobre la cantidad de concentración de *Curcuma longa* y *Zingiber officinale* en la FPH, nuestros hallazgos demuestran que la inclusión de la FPH modifica el total de AGCL en la carne de cordero,

al obtener una disminución en el total de AGS y un incremento en el total de AGMS y AGPS. Estos resultados coinciden con los observados por Marcon *et al.* (2020), quienes reportan una reducción en el nivel de AGS y un aumento en los niveles de AGMS y AGPS al incorporar *Curcuma longa* en la dieta de corderos.

El principal hallazgo del presente estudio es el efecto provocado por una inclusión gradual de la FPH en la dieta de corderos sobre el contenido de ácido eicosapentaenoico (EPA) en carne. El aumento del nivel de EPA puede ser el resultado del incremento gradual de C18:3n3 al incorporar la FPH en la dieta de corderos con respecto al tratamiento testigo, principalmente con FPH-0.40 y FPH-0.60, ya que dicho AGCL es su precursor (Brenna *et al.*, 2009).

Algunas plantas (*Curcuma longa* y *Zingiber officinale*) que conforman la FPH utilizada en el presente estudio han mostrado potencial a la CA (Fernandes *et al.*, 2015); sin embargo, nuestros resultados indican que no fueron suficientes las diferentes dosis de la FPH en la dieta de los corderos para lograr una CA en el suero sanguíneo a los 30 y 59 días del experimento. Estos resultados coinciden con Leal *et al.* (2019) al suplementar con 5 g de 11 diferentes extractos de plantas diferentes, entre ellos *Thymus vulgaris* y *Curcuma longa*, en corderos de raza Aragonesa por 14 días.

Los valores de química sanguínea están dentro del intervalo para corderos menores a un año de edad como los reportan Varanis *et al.* (2021). Esto sugiere que los compuestos bioactivos de la FPH utilizada no modificaron los niveles de los metabolitos proteicos ni energéticos. Sin embargo, en el presente estudio no se esperaban cambios significativos en los niveles de glucosa en sangre, debido a que la adición de la FPH en la dieta de los

corderos no afectó la concentración de propionato en el líquido ruminal, el cual es considerado como el principal precursor de la gluconeogénesis en ovinos (Leng *et al.*, 1967).

VI. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio indican que la suplementación dietética hasta con 0.60 g de una FPH kg^{-1} no mejora el comportamiento productivo, concentración de ácidos grasos volátiles, nitrógeno amoniacal, rendimiento productivo, características de la canal (pH, color, fuerza al corte de la carne), capacidad antioxidante y estado de salud de los corderos. Sin embargo, la inclusión de 0.20 g FPH kg^{-1} mejora la composición de la carne y la capacidad de retención de agua. También, al adicionar la FPH mejora el nivel y perfil de AGCL en la carne al disminuir el total de AGS y aumentar el total de AGMS y AGPS, las dosis de 0.40 y 0.60 g kg^{-1} presentan el mejor perfil de AGCL debido a la presencia de EPA. Consecuentemente, se puede considerar la carne de corderos alimentados con una FPH como un producto cárnico funcional para la salud humana. Por lo tanto, es necesario realizar más investigaciones para evaluar los efectos de otras dosis de la FPH y sus compuestos bioactivos en la producción animal.

VII. LITERATURA CITADA

- Abdullah, B. M., Mehdi, M. A. H., Khan, A. R., & Pathan, J. M. (2020). Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Analysis of Ajwain (*Trachyspermum ammi*) Seed Extract. *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*, 11(2):228-231.
- Adenji, S. A., Adediran, O. A., Ososanya, T. O., & Uwalaka, E. C. (2017). Anthelmintic and anticoccidial effects of *zingiber officinale* roscoe fortified diets fed yankasa rams. *Livestock Research for Rural Development*, 29(7).
- 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), 108705. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108705>
- Ammar, R. M., & Al-Hafz, M. A. (2019). Effect of Using Ginger Roots (*Zingiber officinale*) on Milk Yield and Some of Its Components, Body Weight of Ewes and Lambs, in Awassi Sheep. *Tikrit Journal for Agricultural Sciences* مجلة تكريت للعلوم الزراعية Mağallāt Tikrīt li-‘ulūm al-zirā‘at, 19(3):1-5.
- Anderson, S. (2007). Determination of fat, moisture, and protein in meat and meat products by using the FOSS FoodScan Near-Infrared Spectrophotometer with FOSS Artificial Neural Network Calibration Model and Associated Database: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 90(4):1073-1083.
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (18 edition). Washington, D. C. Association of Official Analytical Chemists.
- Arce-Recinos, C., Chay-Canul, A. J., Alarcón-Zúñiga, B., Ramos-Juárez, J. A., Vargas-Villamil, L. M., Aranda-Ibáñez, E. M., Sánchez-Villegas, N. D. C., & Lopez Dias da Costa, R. (2021). Índices de eficiencia alimenticia en ovinos de pelo: calidad de la carne y genes asociados. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12(2), 523–552. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5642>
- Artuso-Ponte, V., Pastor, A., & Andratsch, M. (2020). The effects of plant extracts on the immune system of livestock. *Feed Additives*, 295-310.
- Awuchi, C. G. (2019). The biochemistry, toxicology, and uses of the pharmacologically active phytochemicals: Alkaloids, terpenes, polyphenols, and glycosides. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 2. <https://doi.org/10.22146/jfps.666>
- Ayala-Monter, M. A., Hernández-Sánchez, D., González-Muñoz, S., Pinto-Ruiz, R., Martínez-Aispuro, J. A., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., & Gloria-Trujillo, A. (2019). Growth performance and health of nursing lambs supplemented with inulin and *Lactobacillus casei*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(8):1137-1144. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0630>

- Bąkowski, M., & Kiczorowska, B. (2021). Probiotic microorganisms and herbs in ruminant nutrition as natural modulators of health and production efficiency – a review. *Annals of Animal Science*, 21(1), 3–28. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0081>
- Bedasso, G. T. (2021). The functional feed additives in animal nutrition: The substitute to antibiotics. *Questjournals.org*. <https://www.questjournals.org/jraas/papers/v8-i6/E08061823.pdf>
- Bellés, M., Del Mar Campo, M., Roncalés, P., & Beltrán, J. A. (2018). Supranutritional doses of vitamin E to improve lamb meat quality. *Meat Science*, 149:14-23. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.002>
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1):70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bobadilla-Soto, E. E., Ochoa-Ambriz, F., & Perea-Peña, M. (2021). Dinámica de la producción y consumo de carne ovina en México 1970 a 2019. *Agronomía mesoamericana: organo divulgativo del PCCMCA, Programa Cooperativo Centroamericano de Mejoramiento de Cultivos y Animales*, 963-982. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.44473>
- Bodas, R., Prieto, N., García-González, R., Andrés, S., Giráldez, F. J., & López, S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 176(4):78-93. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010>
- Brenna, J. T., Salem, N., Jr, Sinclair, A. J., Cunnane, S. C., & International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids, ISSFAL. (2009). alpha-Linolenic acid supplementation and conversion to n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in humans. *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids*, 80(2):85-91. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2009.01.004>
- Calder, P. C. (2018). Very long-chain n-3 fatty acids and human health: fact, fiction and the future. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 77(1):52-72. <https://doi.org/10.1017/s0029665117003950>
- Calderón-Cabrera, J., Santoyo-Cortés, V. H., Martínez-González, E. G., & Palacio-Muñoz, V. H. (2022). Modelos de negocio para la producción de ovinos en el nororiente y centro del Estado de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13(1):145-162. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i1.5816>
- Callaway, T. R., Lillehoj, H., Chuanchuen, R., & Gay, C. G. (2021). Alternatives to antibiotics: A symposium on the challenges and Solutions for Animal Health and production. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*, 10(5):471. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050471>

Castillo-López, R. I., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Leyva-López, N., López-Martínez, L. X., & Heredia, J. B. (2017). Natural alternatives to growth-promoting antibiotics (GPA) in animal production. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(2).

Cervantes-Valencia, M. E., Alcalá-Canto, Y., Sumano-Lopez, H., Ducoing-Watty, A. M., & Gutierrez-Olvera, L. (2016). Effects of *Curcuma longa* dietary inclusion against *Eimeria* spp. in naturally-infected lambs. *Small Ruminant Research: The Journal of the International Goat Association*, 136:27-35. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.12.035>

Chaturvedi, I., Dutta, T. K., & Singh, P. K. (2016). Effect of Indian herbes as feed additives on *in-vitro* rumen fermentation. *Isto-india.org*. <https://isto-india.org/sitepad-data/uploads/2020/06/JOS-VOL-1-ISSUE-4-2016.pdf>

Ciliberti, M. G., Santillo, A., Marino, R., Ciani, E., Caroprese, M., Rillo, L., Matassino, D., Sevi, A., & Albenzio, M. (2021). Lamb meat quality and carcass evaluation of five autochthonous sheep breeds: Towards biodiversity protection. *Animals*, 11, 3222. <https://doi.org/10.3390/ani11113222>

Cox-Georgian, D., Ramadoss, N., Dona, C., & Basu, C. (2019). Therapeutic and medicinal uses of terpenes. *Medicinal Plants*, 333–359.

de Oliveia Cécere, B. G., Molosse, V. L., Deolindo, G. L., Dazuk, V., Silva, A. D., Schetinger, M. R. C., Vedovatto, M., Zotti, C. A., & da Silva, A. S. (2022). Effects of pepper extract in suckling lamb feed: growth performance, metabolism, and oxidative responses. *Annals of Animal Science*, 22(2):731-739. <https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0055>

Delfa, R., Teixeira, A., Gonzalez, C., & Blasco, I. (1995). Ultrasonic estimates of fat thickness and *Longissimus dorsi* muscle depth for predicting carcass composition of live Aragon lambs. *Small Ruminant Research: The Journal of the International Goat Association*, 16(2), 159–164. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(95\)00632-u](https://doi.org/10.1016/0921-4488(95)00632-u)

Diaz-Muñoz, G., Miranda, I. L., Sartori, S. K., de Rezende, D. C., & Diaz, M. A. N. (2018). Anthraquinones: An Overview. In *Studies in Natural Products Chemistry* 313-338.

Dinodiya, J., Jhirwal, A. K., Choudhary, R. S., Goswami, S. C., Choudhary, V. K., Mahla, V., Saharan, J. S. Charan, R. (2015). Broiler performance of Cobb-400 chicks with herbal versus synthetic antimicrobial feed supplements in diet. *Animal Science Report*, 9(1):16-21.

Dorantes-Iturbide, G., Orzuna-Orzuna, J. F., Lara-Bueno, A., Miranda-Romero, L. A., Mendoza-Martínez, G. D., & Hernández-García, P. A. (2022). Effects of a polyherbal dietary additive on performance, dietary energetics, carcass traits, and blood metabolites of finishing lambs. *Metabolites*, 12(5), 413. <https://doi.org/10.3390/metabo12050413>

Erwin, E. S., Marco, G. J., & Emery, E. M. (1961). Volatile fatty acid analyses of blood and Rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*, 44(9):1768-1771. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(61\)89956-6](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(61)89956-6)

Estrada-Angulo, A., Zapata-Ramírez, O., Castro-Pérez, B. I., Urías-Estrada, J. D., Gaxiola-Camacho, S., Angulo-Montoya, C., Ríos-Rincón, F. G., Barreras, A., Zinn, R. A., Leyva-Morales, J. B., Perea-Domínguez, X., & Plascencia, A. (2021). The effects of single or combined supplementation of probiotics and prebiotics on growth performance, dietary energetics, carcass traits, and visceral mass in lambs finished under subtropical climate conditions. *Biology*, 10(11), 1137. <https://doi.org/10.3390/biology10111137>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). El plan de acción sobre la resistencia a los antimicrobianos 2016-2020. Ed. FAO. Roma, Italia.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2002). Probiotics in food, Health and nutritional properties and guidelines for evaluation. Report of a Joint FAO/WHO working group report on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food. Roma, Italia.

Fernandes, R. P. P., Trindade, M. A., Tonin, F. G., Lima, C. G., Pugine, S. M. P., Munkata, P. E. S., Lorenzo, J. M., & de Melo, M. P. (2015). Evaluation of antioxidant capacity of 13 plant extracts by three different methods: cluster analyses applied for selection of the natural extracts with higher antioxidant capacity to replace synthetic antioxidant in lamb burgers. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1):451-460. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1994-x>

García A., E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana). México: Instituto de Geografía. UNAM.

García, H. Y., & García, C. Y. (2015). Uso de aditivos en la alimentación animal: 50 años de experiencia en el Instituto de Ciencia Animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(2), 173-177.

Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*, 125(6):1401-1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>

Hao, H., Cheng, G., Iqbal, Z., Ai, X., Hussain, H. I., Huang, L., Dai, M., Wang, Y., Liu, Z., & Yuan, Z. (2014). Benefits and risks of antimicrobial use in food-producing animals. *Frontiers in Microbiology*, 5, 288. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00288>

Hashemi, S. R., & Davoodi, H. (2011). Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary Research Communications*, 35(3):169-180. <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9458-2>

Hernández-Marín, J. A. (2017). Contribución de la ovinocultura al sector pecuario en México. *Agro Productividad*, 10(3). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/975>

Jachimowicz, K., Winiarska-Mieczan, A., & Tomaszewska, E. (2022). The impact of herbal additives for poultry feed on the fatty acid profile of meat. *Animals*, 12(9), 1054. <https://doi.org/10.3390/ani12091054>

Jaguezeski, A. M., Perin, G., Bottari, N. B., Wagner, R., Fagundes, M. B., Schetinger, M. R. C., Morsch, V. M., Stein, C. S., Moresco, R. N., Barreta, D. A., Danieli, B., Defiltro, R. C., Schogor, A. L. B., & Da Silva, A. S. (2018). Addition of curcumin to the diet of dairy sheep improves health, performance and milk quality. *Animal Feed Science and Technology*, 246:144-157. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.010>

Jaurez-Espinosa, M., Hernández-García, P. A., Osorio-Terán, A. I., Mendoza-Martínez, G. D., Ojeda-Carrasco, J. J., Tapia-Rodríguez, M. Z., & Espinosa-Ayala, E. (2022). Impacto económico y productivo de una mezcla herbal con derivados de colina en la producción de conejos. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13(1):82-96. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i1.5939>

Jenkins, T. C. (2010). Technical note: common analytical errors yielding inaccurate results during analysis of fatty acids in feed and digesta samples. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 1170–1174. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2509>

Jiang, J., & Xiong, Y. L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 120:107-117. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.005>

Khalid, M. F., Shahzad, M. A., Sarwar, M., Rehman, A. U., Sharif, M., & Mukhtar, N. (2011). Probiotics and lamb performance: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 6(23):5198-5203.

Khattab, M. S. A., Tawab, A. M. A. E., Hadhoud, F. I., & Shaaban, M. M. (2019). Utilizing of celery and thyme as ruminal fermentation and digestibility modifier and reducing gas production. *International Journal of Dairy Science*, 15(1):22-27. <https://doi.org/10.3923/ijds.2020.22.27>

Kheiri, F., Faghani, M., & Landy, N. (2018). Evaluation of thyme and ajwain as antibiotic growth promoter substitutions on growth performance, carcass characteristics and serum biochemistry in Japanese quails (*Coturnix japonica*). *Animal Nutrition*, 4(1):79-83. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.002>

Kiczorowska, B., Samolińska, W., Al-Yasiry, A. R. M., Kiczorowski, P., & Winiarska-Mieczan, A. (2017). The natural feed additives as immunostimulants in monogastric animal nutrition – a review. *Annals of Animal Science*, 17(3):605-625. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0076>

Kuralkar, P., & Kuralkar, S. V. (2021). Role of herbal products in animal production - An updated review. *Journal of Ethnopharmacology*, 278(114246). <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114246>

- Leal-Gutiérrez, J., & Jiménez-Robayo, L. (2015). La capacidad de retención de agua (CRA) de la carne de bovino y posibles genes candidatos. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4545.0081>
- Leal, L. N., Jordán, M. J., Bello, J. M., Ota, J., den Hartog, L. A., Hendriks, W. H., & Martín-Tereso, J. (2019). Dietary supplementation of 11 different plant extracts on the antioxidant capacity of blood and selected tissues in lightweight lambs: Effect of plant extracts on antioxidant capacity in lamb tissues. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(9):42964-303. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9662>
- Lei, X. J., Yun, H. M., Kang, J. S., & Kim, I. H. (2018). Effects of Herbiotic FS supplementation on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, and faecal scores in weanling pigs. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1):702-706. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1386108>
- Leng, R. A., Steel, J. W., & Luick, J. R. (1967). Contribution of propionate to glucose synthesis in sheep. *The Biochemical Journal*, 103(3):785-790. <https://doi.org/10.1042/bj1030785>
- Li, Y., & Jiang, J.-G. (2018). Health functions and structure-activity relationships of natural anthraquinones from plants. *Food & Function*, 9(12):6063-6080. <https://doi.org/10.1039/c8fo01569d>
- Liu, C., Hou, Y., Su, R., Luo, Y., Dou, L., Yang, Z., Yao, D., Wang, B., Zhao, L., Su, L., & Jin, Y. (2022). Effect of dietary probiotics supplementation on meat quality, volatile flavor compounds, muscle fiber characteristics, and antioxidant capacity in lambs. *Food Science & Nutrition*, 10(8):2646-2658. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2869>
- Liu, J., Leng, L., Liu, Y., Gao, H., Yang, W., Chen, S., & Liu, A. (2020). Identification and quantification of target metabolites combined with transcriptome of two *rheum* species focused on anthraquinone and flavonoids biosynthesis. *Scientific Reports*, 10(1), 20241. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77356-9>
- Lozano-Sánchez, M., Mendoza-Martínez, G. D., Martínez-García, J. A., la Torre-Hernández, M. E. de, Chamorro-Ramírez, F. H., Martínez-Aispuro, J. A., Cordero-Mora, J. L., Sánchez-Torres, M. T., Hernández-García, P. A., & Jones, R. (2021). Evaluation of polyherbal with vitamin C activity on lamb performance and meat characteristics. *Revista Brasileira de Zootecnia*. <https://doi.org/10.37496/rbz5020200166>
- Ma, F., Xu, S., Tang, Z., Li, Z., & Zhang, L. (2021). Use of antimicrobials in food animals and impact of transmission of antimicrobial resistance on humans. *Biosafety and Health*, 3(1):32-38. <https://doi.org/10.1016/j.bsheal.2020.09.004>
- Malik, M. A., Bhat, S. A., Rehman, M. U., Sidique, S., Akhoun, Z. A., Shrivastava, P., & Sheikh, B. A. (2018). Phytochemical analysis and antimicrobial activity of *Rheum emodi* (Rhubarb) rhizomes. *The Pharma Innovation*, 7(5), 17.
- Mancini, S., Paci, G., Dal Bosco, A., Mattioli, S., & Preziuso, G. (2019). Effect of ginger powder addition on quality, fatty acids profile, lipid oxidation and antioxidant capacity of

cooked pork burgers. *European Food Research and Technology*, 245(7):1377-1386. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03264-6>

Mandey, J. S. & Sompie, F. N. (2021). Phytogetic feed additives as an alternative to antibiotic growth promoters in poultry nutrition. *Advanced Studies in the 21st Century Animal Nutrition*.

Mao, Q.-Q., Xu, X.-Y., Cao, S.-Y., Gan, R.-Y., Corke, H., Beta, T., & Li, H.-B. (2019). Bioactive Compounds and Bioactivities of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods* (Basel, Switzerland), 8(6), 185. <https://doi.org/10.3390/foods8060185>

Marcon, H., Baldissera, M. D., Furlan, V. J. M., Wagner, R., Alba, D. F., Molosse, V. L., Cecere, B. G. O., & Silva, A. S. D. (2020). Curcumin supplementation positively modulates fatty acid profiles in lamb meat. *Small Ruminant Research: The Journal of the International Goat Association*, 190(106141). <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106141>

Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2018). The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13099-018-0250-0>

McCullough, H. (1967). The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *International Journal of Clinical Chemistry*, 17(2):297-304. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(67\)90133-7](https://doi.org/10.1016/0009-8981(67)90133-7)

Mohammadi Gheisar, M., & Kim, I. H. (2018). Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1):92-99. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2017.1350120>

Molosse, V., Souza, C. F., Baldissera, M. D., Glombowsky, P., Campigotto, G., Cazaratto, C. J., Stefani, L. M., & da Silva, A. S. (2019). Diet supplemented with curcumin for nursing lambs improves animal growth, energetic metabolism, and performance of the antioxidant and immune systems. *Small Ruminant Research: The Journal of the International Goat Association*, 170:74-81. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.11.014>

Montossi, F., Font-i-Furnols, M., del Campo, M., San Julián, R., Brito, G., & Sañudo, C. (2013). Sustainable sheep production and consumer preference trends: compatibilities, contradictions, and unresolved dilemmas. *Meat Science*, 95(4):772-789. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.048>

Mousa, G. A., Allak, M. A., Shehata, M. G., Hashem, N. M., & Hassan, O. G. A. (2022). Dietary supplementation with a combination of fibrolytic enzymes and probiotics improves digestibility, growth performance, blood metabolites, and economics of fattening lambs. *Animals*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/ani12040476>

Mu, C. T., Ding, N., Hao, X. Y., Zhao, Y. B., Wang, P. J., Zhao, J. X., Ren, Y. S., Zhang, C. X., Zhang, W. J., Xiang, B. W., & Zhang, J. X. (2019). Effects of different proportion of buckwheat straw and corn straw on performance, rumen fermentation and rumen microbiota composition of fattening lambs. *Small Ruminant Research: The Journal of the*

International Goat Association, 181:21-28.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.09.006>

Murthy, H. N., & Paek, K. Y. (Eds.). (2021). Bioactive compounds in underutilized vegetables and legumes. Springer International Publishing.

Nieto, G., Bañón, S., & Garrido, M. D. (2012). Incorporation of thyme leaves in the diet of pregnant and lactating ewes: Effect on the fatty acid profile of lamb. *Small Ruminant Research: The Journal of the International Goat Association*, 105(1):40-147. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.016>

Nieto, G., Díaz, P., Bañón, S., & Garrido, M. D. (2010). Effect on lamb meat quality of including thyme (*Thymus zygis* ssp. *gracilis*) leaves in ewes' diet. *Meat Science*, 85(1): 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.009>

NOM-033-SAG/ZOO-2014. (2014). Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Diario Oficial de la Federación.

NRC - National Research Council. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. The National Academy Press. Washington, D.C. <https://doi.org/10.17226/11654>

Odhaib, K. J., Alallawee, M. H. A., & AL-Mousawi, Z. A. (2021). Utilization of Herbal Remedies to Improve Ruminant Performance: A Review. *Al-Anbar Journal of Veterinary Sciences*, 14(1).

Orzuna-Orzuna, J. F., Dorantes-Iturbide, G., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G. D., Miranda-Romero, L. A., & Hernández-García, P. A. (2021a). Growth performance, carcass characteristics, and blood metabolites of lambs supplemented with a polyherbal mixture. *Animals*, 11(4), 955. <https://doi.org/10.3390/ani11040955>

Orzuna-Orzuna, J. F., Dorantes-Iturbide, G., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G. D., Miranda-Romero, L. A., López-Ordaz, R., & Hernández-García, P. A. (2021b). Productive performance, carcass traits, and meat quality in finishing lambs supplemented with a polyherbal mixture. *Agriculture*, 11(10), 942. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100942>

Orzuna-Orzuna, J. F., Dorantes-Iturbide, G., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G. D., Miranda-Romero, L. A., & Lee-Rangel, H. A. (2021c). Growth performance, meat quality and antioxidant status of sheep supplemented with tannins: A meta-analysis. *Animals*, 11(11), 3184. <https://doi.org/10.3390/ani11113184>

Orzuna-Orzuna, J., Dorantes-Iturbide, G., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G., Miranda-Romero, L., & Hernández-García, P. (2021d). Effects of dietary tannins' supplementation on growth performance, Rumen fermentation, and Enteric methane emissions in beef cattle: A meta-analysis. *Sustainability*, 13(13), 7410. <https://doi.org/10.3390/su13137410>

Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (2003). Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*, 81(12), 3250–3254. <https://doi.org/10.2527/2003.81123250x>

- Park, S. K., & Lee, Y. K. (2021). Antioxidant Activity in *Rheum emodi* Wall (Himalayan Rhubarb). *Molecules*, 26(9). <https://doi.org/10.3390/molecules26092555>
- Pirgozliev, V., Rose, S. P., & Ivanova, S. (2019). Feed additives in poultry nutrition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(1):8-11.
- Podolska, G., Gujska, E., Klepacka, J., & Aleksandrowicz, E. (2021). Bioactive compounds in different buckwheat species. *Plants*, 10(5), 961. <https://doi.org/10.3390/plants10050961>
- Ponnampalam, E. N., Bekhit, A. E. D., Bruce, H., Scollan, N. D., Muchenje, V., Silva, P., & Jacobs, J. L. (2019). Production strategies and processing systems of meat. *Sustainable Meat Production and Processing*, 17–44.
- Rajasekaran, A., Sivagnanam, G., & Xavier, R. (2008). Nutraceuticals as therapeutic agents: A Review. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 1(4):328-340.
- Razo, O. P. B., Mendoza, M. G. D., Silva, G. V., Osorio, T. A. I., González, S. J. F., Hernández, G. P. A., de la Torre, H. M. E., & Espinosa, A. E. (2020). Polyherbal feed additive for lambs: effects on performance, blood biochemistry and biometry. *Journal of Applied Animal Research*, 48(1):419-424. <https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1814786>
- Saleem, A. M., Zanouny, A. I., & Singer, A. M. (2017). Growth performance, nutrients digestibility, and blood metabolites of lambs fed diets supplemented with probiotics during pre- and post-weaning period. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(4), 523–530. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0691>
- SAS. (2017). *Statistical Analysis System. SAS/STAT Software Release 9.4*. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Serra, V., Salvatori, G., & Pastorelli, G. (2021). Dietary polyphenol supplementation in food producing animals: Effects on the quality of derived products. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 11(2), 401. <https://doi.org/10.3390/ani11020401>
- Sharma, J., Sarmah, P., & Bishnoi, N. R. (2020). Market perspective of EPA and DHA production from microalgae. *Nutraceutical Fatty Acids from Oleaginous Microalgae* Wiley, 281–297. <https://doi.org/10.1002/9781119631729.ch11>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). *Producción agropecuaria y pesquera. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta SIACON*.
- Sultan, K. (2022). Effect of *Curcuma longa* supplementation in post-weaning lambs ration on performance, carcass and meat quality. *Journal of animal and feed sciences*, 31(2):175-181. <https://doi.org/10.22358/jafs/149003/2022>
- Takooree, H., Aumeeruddy, M. Z., Rengasamy, K. R. R., Venugopala, K. N., Jeewon, R., Zengin, G., & Mahomoodally, M. F. (2019). A systematic review on black pepper (*Piper nigrum* L.): from folk uses to pharmacological applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59:210-243. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1565489>

- Tiwari, R., & Rana, C. S. (2015). Plant secondary metabolites: a review. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(5):661-670.
- Tsiplakou, E., Pitino, R., Manuelian, C. L., Simoni, M., Mitsiopoulou, C., De Marchi, M., & Righi, F. (2021). Plant feed additives as natural alternatives to the use of synthetic antioxidant vitamins in livestock animal products yield, quality, and oxidative status: A review. *Antioxidants*, 10(5), 780. <https://doi.org/10.3390/antiox10050780>
- Valenzuela-Grijalva, N. V., Pinelli-Saavedra, A., Muhlia-Almazan, A., Domínguez-Díaz, D., & González-Ríos, H. (2017). Dietary inclusion effects of phytochemicals as growth promoters in animal production. *Journal of Animal Science and Technology*, 59(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40781-017-0133-9>
- Van Boeckel, T. P., Pires, J., Silvester, R., Zhao, C., Song, J., Criscuolo, N. G., Gilbert, M., Bonhoeffer, S., & Laxminarayan, R. (2019). Global trends in antimicrobial resistance in animals in low- and middle-income countries. *Science*, 365(6459). <https://doi.org/10.1126/science.aaw1944>
- 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)
- Varanis, L. F. M., Schultz, E. B., Oliveira, K. A., Sousa, L. F., Cruz, W. F. G. da, Macedo Junior, G. de L. (2021). Serum biochemical reference ranges for lambs from birth to 1 year of age in the tropics. *Semina. Ciências agrárias*, 42:1725-1740. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3supl1p1725>
- Vlaicu, P. A., Untea, A. E., Turcu, R. P., Saracila, M., Panaite, T. D., & Cornescu, G. M. (2022). Nutritional composition and bioactive compounds of basil, thyme and sage plant additives and their functionality on broiler thigh meat quality. *Foods*, 11(8), 1105. <https://doi.org/10.3390/foods11081105>
- Windisch, W., & Kroismayr, A. (2006). The effects of phytobiotics on performance and gut function in monogastrics. In *World nutrition forum: The future of animal nutrition*, 85-90.
- Yáñez-Ruiz, D. R., & Belanche, A. (2020). Plant secondary compounds: beneficial roles in sustainable ruminant nutrition and productivity. In *Improving rumen function*, 727–774.
- Zhao, J., Li, K., Su, R., Liu, W., Ren, Y., Zhang, C., Du, M., & Zhang, J. (2017). Effect of dietary Tartary buckwheat extract supplementation on growth performance, meat quality and antioxidant activity in ewe lambs. *Meat Science*, 134:79-85. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.07.016>

ANEXOS

Análisis económico

En el Cuadro 7 se presenta un análisis económico únicamente por concepto de alimentación, donde fueron considerados los costos del concentrado, forraje, vitaminas y minerales, así como el costo de la fórmula polihierbal utilizada (Herbionic FS) y venta de carne en pie. Las variaciones en los costos totales por tratamiento se deben básicamente al costo de la FPH, el cual fue de \$ 150.00 por kg al momento de realizar el experimento. Consecuentemente, el costo total de la dieta se elevó en un 3.0, 6.0 y 9.0 % cuando se incluyó 0.20, 0.40 y 0.60 g d⁻¹ de FPH, respectivamente, comparado con el costo de la dieta sin la FPH. Dichos incrementos en costos equivalen a reducción del ingreso neto, a pesar de que el consumo de materia seca individual es básicamente el mismo. Es evidente que el uso de la FPH en la dieta de corderos encarece los costos totales por concepto de alimentación. Sin embargo, agregar 0.40 y 0.60 g d⁻¹ de la FPH en la dieta, aumenta el contenido total del ácido eicosapentaenoico (EPA) de 0.0 % a 0.03 % y 0.01 % respectivamente en carne cruda con respecto al contenido de EPA en aquellas muestras de carne de animales sin la FPH. Esto es de vital importancia debido a que varias organizaciones (Calder, 2018) recomiendan un consumo frecuente de EPA para obtener efectos positivos en la salud humana. Algunos beneficios al ingerir EPA son un mejor desarrollo cerebral, prevención de enfermedades cardiovasculares, menor predisposición a cáncer, reducción de problemas dermatológicos, y disminución de procesos inflamatorios (Sharma *et al.*, 2020). Económicamente el rubro referido a la salud humana representa costos elevados, los cuales deben tomarse en consideración a fin de disminuir dichas tasas de mortalidad. Adicionalmente, consumir ese tipo de

alimentos lleva el valor agregado de estar ingiriendo alimentos funcionales, que hoy día son una necesidad. Es necesario documentar que afortunadamente, los resultados del presente estudio también muestran que los ácidos grasos saturados disminuyen en relación a los monoinsaturados y poliinsaturados, los cuales aumentan con la adición de la FPH, situación que resulta positiva en el aspecto de la salud humana, dada la relación de los ácidos grasos saturados con enfermedades cardiovasculares. Ante estos resultados, y dada la importancia del EPA en la salud humana, es necesario buscar alternativas para obtener productos con alto contenido de EPA a bajo costo. Por lo que es recomendable evaluar otras fuentes de EPA cuya meta principal sea el incremento de su contenido en la carne, aspecto que cobra especial importancia en ovinos por su consumo en todo el país básicamente en forma de barbacoa (Alanís *et al.*, 2022). Finalmente, es importante considerar que el análisis económico realizado para el presente estudio, requiere de un análisis más completo donde se consideren otros factores como mano de obra, medicamentos, combustible, animales, maquinaria, instalaciones y transporte, entre otros, a fin de tener un mejor concepto de los costos económicos que representa incluir la FPH en la dieta de corderos. Además, la investigación en nutrición, genética, bienestar animal, producción de carne y leche, y salud humana ha avanzado en paralelo a los avances tecnológicos en nutrigenómica, biología molecular, alimentos funcionales y nanotecnología y se ve reforzada aún más por el crecimiento de los medios de comunicación que facilitan el rápido intercambio de información a nivel mundial. La comunicación entre los productores, minoristas, consumidores, nutricionistas, personal de la industria y profesionales de la salud, facilitará la adopción de resultados de investigación para abordar las necesidades del

mercado. Como resultado, los consumidores están mejor educados y más informados sobre la información actual; en consecuencia, exigen alimentos que sean más nutritivos, seguros, respetuosos con el medio ambiente, mayor bienestar animal y que proporcionen mejores beneficios para la salud humana (Ponnampalam *et al.*, 2019).

Cuadro 7. Análisis económico por concepto de alimentación en corderos suplementados con cuatro dosis de una fórmula polihierbal.

	FPH (g/kg BS)			
	0.00	0.20	0.40	0.60
Duración de la engorda (días)	59	59	59	59
Costo de la dieta (\$ kg ⁻¹)	9.40	9.70	10.00	10.30
CMS (kg día ⁻¹ animal ⁻¹)	1.50	1.52	1.53	1.51
GDP (kg día ⁻¹ animal ⁻¹)	0.275	0.278	0.299	0.278
Costo total (\$)	831.90	869.90	902.70	917.62
Retornos				
PGT (kg animal ⁻¹)	16.23	16.40	17.64	16.40
Precio del kg en pie (\$)	58.00	58.00	58.00	58.00
Ingreso por venta de carne animal ⁻¹ (\$)	941.05	951.32	1023.18	951.32
Ingreso Neto (\$)	109.15	81.42	120.48	33.69

CMS; Consumo de materia seca, GDP; Ganancia diaria de peso, PGT; Peso ganado total.