



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM AMECAMECA

Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**EVALUACIÓN DE COLINA HERBAL Y TRES FUENTES DE FIBRA EN
LA PRODUCCIÓN DE METANO EN CONEJOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

KAREM DÍAZ FRAGOSO

Amecameca, Estado de México, Mayo de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM AMECAMECA

Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**EVALUACIÓN DE COLINA HERBAL Y TRES FUENTES DE FIBRA EN
LA PRODUCCIÓN DE METANO EN CONEJOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

KAREM DÍAZ FRAGOSO

COMITÉ DE TUTORES:

DR. PEDRO ABEL HERNÁNDEZ GARCÍA

DR. ENRIQUE ESPINOSA AYALA

DRA. MARÍA EUGENIA DE LA TORRE HERNÁNDEZ

Amecameca, Estado de México, Mayo de 2024

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of the inclusion of herbal choline and three different fiber sources on productive behavior, cecum fermentation and methane production. 72 rabbits (New Zealand with California) of 41 days of age with a weight of 1.06 ± 0.08 kg were used, randomized into six treatments (n= 12); which consisted of three rations formulated for growing rabbits with the inclusion of three different percentages of fibrous foods (alfalfa hay, wheat bran, oat straw) and two doses of herbal choline (0 and 600 mg kg⁻¹). For 40 days, production variables were recorded. At the end of the productive test, the rabbits were sacrificed and cecal fluid was obtained, in which pH was measured and the percentage of VFA was quantified. The cecal content of 5 rabbits per treatment was homogenized and incubated in vitro in order to measure gas production in vitro (V_{max}, Lag, and gas production rate) and methane generation was estimated using gas traps. sodium hydroxide. Production data, cecal fermentation and CH₄ were analyzed by a completely randomized design using a 3x2 factorial arrangement (three fiber sources and two herbal choline inclusions) using a significance level of $P < 0.1$. Fiber x herbal choline interaction was found ($P < 0.05$) for final weight, daily weight gain, efficiency and feed conversion, statistical effect by type of fiber for DM digestibility ($P = 0.0001$), with lower values reported for oat straw and the effect of herbal choline on NDF digestibility was observed ($P = 0.0989$). The cecal fermentation variables showed an effect of the source of fiber ($P = 0.0167$) and herbal choline ($P = 0.0138$) for pH while the proportion of VFA showed an effect of the type of forage ($P < 0.1$) and a fiber x choline interaction ($P < 0.05$). Regarding the generation of cecal CH₄, there is an effect due to the fiber source ($P = 0.0006$) and a fiber x herbal choline interaction was shown ($P = 0.0125$). The use of alternative forages in rabbit feeding is viable since productivity is maintained and it is suggested that 600 mg Kg⁻¹ of vegetable choline reduces methane emissions.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la inclusión de colina herbal y tres diferentes fuentes de fibra en el comportamiento productivo, fermentación del ciego y producción de metano. Se utilizaron 72 conejos (Nueva Zelanda con California) de 41 días de edad con un peso de 1.06 ± 0.08 kg aleatorizados en seis tratamientos ($n= 12$); los cuales consistieron en tres raciones formuladas para conejos en crecimiento con formuladas con tres diferentes porcentajes de alimentos fibrosos (heno de alfalfa, salvado de trigo, paja de avena) y cada forraje con dos dosis de colina herbal (0 y 600 mg kg^{-1}). Durante 40 días se tomó registro de las variables productivas. Al final de la prueba productiva, los conejos fueron sacrificados y se obtuvo líquido cecal al cual se midió pH y se les cuantificó el porcentaje de AGV por animal. Se homogenizó el contenido cecal de 5 conejos por tratamiento y se procedió a incubar *in vitro* con la finalidad de medir la producción de gas *in vitro* (V_{\max} , Lag, y tasa de producción de gas) y se estimó la generación de metano utilizando trampas de hidróxido de sodio. Los datos productivos, fermentación cecal y CH_4 se analizaron mediante un diseño completamente al azar utilizando un arreglo factorial 3×2 (tres fuentes de fibra y dos inclusiones de colina herbal) utilizando un nivel de significancia de $P < 0.1$. Se encontró interacción fibra x colina herbal ($P < 0.05$) para peso final, ganancia diaria de peso, eficiencia y conversión alimenticia, efecto estadístico por el tipo de fibra para digestibilidad de MS ($P = 0.0001$) reportándose menores valores para paja de avena y se observó efecto de la colina herbal para digestibilidad de la FDN ($P = 0.0989$). Las variables de fermentación cecal mostraron efecto la fuente de fibra ($P = 0.0167$) y colina herbal ($P = 0.0138$) para pH mientras que la proporción de AGV mostraron efecto por el tipo de forraje ($P < 0.1$) y una interacción fibra x colina ($P < 0.05$). En cuanto a la generación de CH_4 cecal existe efecto por la fuente de fibra ($P = 0.0006$) y se mostró una interacción fibra x colina herbal ($P = 0.0125$). La utilización de forrajes alternativos en la alimentación de conejos es viable ya que se mantiene la productividad y se sugiere que 600 mg Kg^{-1} de colina vegetal disminuye las emisiones de metano.

CONTENIDO

1. ABSTRACT	I
2. RESUMEN	II
3. DEDICATORIA	Error! Bookmark not defined.
4. AGRADECIMIENTOS	Error! Bookmark not defined.
5. INTRODUCCIÓN	1
6. ANTECEDENTES	3
CALENTAMIENTO GLOBAL, IMPORTANCIA Y CONSECUENCIAS.	3
FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CALENTAMIENTO GLOBAL.	5
APORTACIÓN DE LA GANADERÍA EN EL CALENTAMIENTO GLOBAL.	6
FUENTES DE EMISIÓN DE CH ₄ DEL GANADO DOMÉSTICO.	7
TIPOS DE FERMENTACIÓN PRE Y POSTGÁSTRICA.	7
PRODUCCIÓN DE CONEJOS A NIVEL MUNDIAL Y EN MÉXICO.	9
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CARNE DE CONEJO EN MÉXICO.	12
DIGESTIÓN DEL CONEJO: ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA.	13
ALIMENTACIÓN DEL CONEJO.	18
ALMIDONES EN LA RACIÓN DE CONEJOS.	18
FIBRA DETERGENTE NEUTRO Y FIBRA DETERGENTE ÁCIDO EN LAS RACIONES PARA CONEJO.	19
ADITIVOS NUTRICIONALES EN CONEJOS.	20
COLINA VEGETAL EN ANIMALES DE GRANJA.	21
COLINA COMO ADITIVO ESTIMULANTE DE LA MICROBIOTA EN CONEJOS.	24
7. JUSTIFICACIÓN	26
8. OBJETIVOS	27
OBJETIVO GENERAL	27
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
9. MATERIALES Y MÉTODOS	28
ANIMALES, RACIONES EXPERIMENTALES Y PRUEBA PRODUCTIVA.	28
CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES.	30
PRODUCCIÓN DE GAS <i>IN VITRO</i> Y ESTIMACIÓN DE METANO Y DIÓXIDO DE CARBONO.	30
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	31
10. RESULTADOS	33
11. CONCLUSIÓN	34
12. REFERENCIAS	35

1. INTRODUCCIÓN

La creciente problemática por el incremento de la temperatura global como consecuencia de la acumulación de gases presentes en la atmosfera; es una amenaza que pone en riesgo a los ecosistemas y la generación de recursos naturales en el planeta (Garduño, 2004; Fernández-Reyes *et al.*, 2015; De y Dhote, 2024). La emisión de estos gases que promueven el efecto invernadero ha incrementado debido a la industrialización de las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la contaminación de la atmosfera, deforestación y ganadería, ha incrementado el problema acelerando el cambio climático (Houghton, 2005; Sondakn *et al.*, 2024). Dentro de estas actividades, la producción animal es necesaria para proveer proteína de buena calidad a la población, pero representa el 12% de GEI (gases de efecto invernadero) liberando dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) (IPCC, 2014). De estas emisiones, los rumiantes son los principales emisores de CH₄ a partir de sus procesos digestivos derivados de la fermentación entérica (Roques *et al.*, 2024), sin embargo, se ha desestimado la investigación sobre el aporte y mitigación que aportan otros herbívoros como los conejos a las emisiones del GEI (Mi *et al.*, 2018).

Los conejos al ser fermentadores postgástricos de la fibra, tienen la capacidad de liberar CH₄ y aunque lo hacen en menor cantidad que los rumiantes, su población productiva ha crecido a nivel mundial y a futuro pueden ser una opción que abastezca las necesidades globales de carne (Petracci y Cavani, 2013; Cullere y Dalle Zotte, 2018) lo que podría impactar de forma negativa al medio ambiente. Además, la carne de conejo es considerada como un alimento biofuncional al presentar un balance adecuado entre ácidos grasos, bajo aporte de colesterol, elevado aporte de proteína (21%), bajas

concentraciones de sodio y 1510 Kcal por kilo de carne (Para, 2015; Dalle Zotte, 2002). Por lo cual, la tendencia del consumo de esta carne va en aumento y podría agravar sus emisiones de gases contaminantes a futuro.

Considerando estos incrementos de las emisiones de CH₄ al ambiente, el manejo nutricional es la estrategia más adecuada para mantener la productividad del conejo y para no agravar la crisis del cambio climático (Mi *et al.*, 2018). Este manejo nutricional podría beneficiar algunas bacterias que compiten por la utilización de hidrógenos y disminuir el sustrato para la generación de CH₄ (Ferrer y Pérez, 2010). En este sentido, el uso de aditivos naturales como hierbas y sus extractos puede mejorar la salud intestinal y la productividad en los conejos debido a metabolitos secundarios con actividad antioxidante y antibacteriana (Lasseby, 2007); existen aditivos polihierbales con precursores de vitaminas, tal es el caso de la colina (β -hidroxietil-trimetilamonio), la cual, está involucrada en la formación de los compuestos metil que son importantes en el transporte celular y la formación de músculo (Ziezel, 1981; Roque Jimenez *et al.*, 2021). La utilización de fuentes de colina naturales tiene ventajas contra el cloruro de colina (Selvam *et al.*, 2018) además, de contener otros fitobióticos beneficios para la salud y producción animal (Frankič *et al.*, 2009). Diversos estudios han comprobado que flavonoides, polifenoles y taninos pueden funcionar como prebióticos al estimular las colonias de bacterias (Yang *et al.*, 2020), disminuyendo de la misma forma a bacterias metanogénicas (Cieslak *et al.*, 2012; Banankar *et al.*, 2019), por lo que su inclusión en las raciones para animales de granja podría disminuir la emisión de contaminantes atmosféricos.

2. ANTECEDENTES

CALENTAMIENTO GLOBAL, IMPORTANCIA Y CONSECUENCIAS.

El cambio climático y el calentamiento global han sido un tema de importancia desde la década de los 80's, cuando se detectó como una amenaza ambiental y desde ese entonces los científicos no han dejado de dar seguimiento puesto que es un tema cada vez más urgente (Fernández-Reyes *et al.*, 2015). Hace referencia a un aumento de temperatura en el planeta, derivado principalmente de las actividades humanas como la contaminación, la deforestación masiva, la ganadería y en particular la quema de combustibles fósiles de los cuales se derivan grandes emisiones de gases principalmente dióxido de carbono y metano que son conocidos como "gases de efecto invernadero" (Houghton, 2005). Este término de "efecto invernadero" es en referencia a la similitud con el calentamiento que se produce dentro de un invernadero real, siendo éste traspolado al calentamiento del planeta, los principales gases de efecto invernadero son CO₂, NH₃, N₂O y CH₄, éste último aporta el 20% del forzamiento radiactivo detrás del CO₂ que contribuye con el 60% (Lassey, 2007; He *et al.*, 2024). De forma natural, estos gases y el efecto invernadero siempre ha existido en el planeta debido a que es una consecuencia normal de la atmósfera la cual provocó un aumento en la temperatura misma encargada de lograr el surgimiento y la evolución de la vida como la conocemos en la actualidad, el incremento de estos gases provoca una retención de radiación lo que ocasiona que se caliente la superficie de la tierra, fue una alteración de origen humano la responsable de inyectar grandes cantidades de CO₂ en la atmósfera del planeta aumentando el efecto

invernadero y provocando que los gases presentes absorban más radiación resultando en un cambio ambiental (Garduño, 2004; Uda *et al.*, 2024).

Los gases emitidos por la actividad humana como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y halocarbonos se denominan antropogénicos y son altamente absorbentes de radiación infrarroja generando un forzamiento radiactivo positivo en la atmósfera de la tierra, resultando en un calentamiento (Roques *et al.*, 2024). Esta alteración en el clima genera impactos negativos como aumento de temperatura, alteración en los ecosistemas, aumento en el nivel del mar, fenómenos climáticos extremos (Iglesias y Medina, 2009; Feinberg, 2024).

Dentro de los efectos que provoca el incremento de la temperatura secundario al cambio climático, puede aumentar la cantidad de descomposición bacteriana del carbono orgánico que se encuentra en la tierra lo que provoca más liberación de CO₂ a la atmósfera, el metano atmosférico que se ha acumulado en la atmósfera durante más de tres siglos es de origen antropogénico debido a diversas actividades humanas del sector primario como la agricultura, ganadería y cultivo de arroz, siendo ésta la más destacada (Zhang *et al.*, 2015) puesto que el cultivo de arroz crece al mismo tiempo que se incrementa la población y el objetivo de abastecer esa demanda, lo que disminuye el suministro de oxígeno de la atmósfera al suelo provocando la fermentación de la materia orgánica la cual derivado de este proceso emite gas metano (Anand *et al.*, 2005; Song *et al.*, 2024).

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CALENTAMIENTO GLOBAL.

Existen diversos factores que contribuyen al calentamiento del planeta, uno de ellos y el más importante es la quema de combustibles fósiles, los cuales son productos hidrocarbonados que provienen de los restos de seres vivos prehistóricos que se fosilizaron y se fueron transformando con la acción de la naturaleza como la temperatura, el proceso microbiano y la presión del suelo, generando estos combustibles como el gas natural, petróleo, carbón, entre otros, que son extraídos del subsuelo y pasados por procesos de refinación y combustión para su utilización, generando así gran cantidad de contaminantes al medio ambiente (Contreras *et al.*, 2021).

Los aerosoles carbonosos que son partículas sólidas o líquidas derivados de la combustión son otro factor antropogénico que daña directamente el ambiente por una absorción y dispersión de la radiación del sol y también de manera indirecta modificando su radiación y que al ser inhalados por los seres humanos pueden ser altamente dañinos para la salud cardiovascular y pulmonar (Orjan *et al.*, 2009).

Otro factor que contribuye al calentamiento global es la tala masiva de árboles en el mundo ya que al deforestar, quemar los árboles y la agricultura ya que al arar la tierra se libera dióxido de carbono a la atmósfera, aproximadamente 7 toneladas de carbono al año derivado de estas actividades y de la quema de combustibles fósiles, otra parte es absorbida por el aire y los océanos estos últimos tienen la capacidad de absorber carbono disuelto en una proporción de hasta cincuenta veces mayor al que se encuentra en la atmósfera, esto mediante reacciones químicas que se llevan a cabo en la superficie oceánica en donde el CO₂ que es absorbido se combina con iones de borato y carbonato resultando en una capacidad amortiguadora (Kasting, 1998; Couespel *et al.*, 2021).

La ganadería también es responsable de la emisión del 18% de GEI, siendo los principales gases el CH₄ y el NH₂, esto derivado del cambio de uso de suelo, manejo del estiércol, agricultura y fermentación entérica, aunque no solo los rumiantes son responsables se engloba a todos los herbívoros en general (Herrero *et al.*, 2011; Sondakh *et al.*, 2024).

APORTACIÓN DE LA GANADERÍA EN EL CALENTAMIENTO GLOBAL.

Según los datos reportados por la FAO, en México la ganadería ocupa una tercera parte del total de la superficie terrestre para la producción de forrajes además de que cerca del 50% del territorio nacional son praderas resultado de restos de bosques deforestados que se utilizan para producción ganadera (Vera, 2019).

La ganadería contribuye con el 18% del total de GEI debido a la fermentación entérica de los herbívoros y que es necesaria para una nutrición y su óptima producción de alimentos de alto valor biológico como lo es la carne y la leche (Carmona *et al.*, 2005; Roques *et al.*, 2024). También es importante considerar el manejo de excretas como generadores de CH₄ y el uso de fertilizantes nitrogenados y otros químicos que se utilizan para la producción de forrajes y otros productos agrícolas con los que son alimentados los animales de granja (Mara, 2011). Dentro del porcentaje que la ganadería contribuye, el 80% se atribuye a los rumiantes, debido a la fermentación entérica y al uso antropogénico que se le da a la tierra para poder producir los cultivos con los que se alimentan los rumiantes siendo el 35% de los cultivos agrícolas (Bellarby *et al.*, 2013) pues se utiliza el estiércol del ganado como fertilizante que es rico en microorganismos anaeróbicos los cuales en contacto con O₂ convierten el C en CH₄, contribuyendo así a emisiones importantes de CH₄ (Roques *et al.*, 2024).

FUENTES DE EMISIÓN DE CH₄ DEL GANADO DOMÉSTICO.

El ganado doméstico contribuye aproximadamente con el 15 % de la producción de metano global siendo el ganado bovino el mayor emisor con un 78% en representadas por 58 millones de toneladas de metano al año en comparación con las demás especies domésticas (Carmona *et al.*, 2005; Dressler *et al.*, 2024). Aunado a esto, la gestión del estiércol es otra fuente vital de metano (Shrestha *et al.*, 2013). Estas problemáticas se han agravado por la creciente demanda de alimentos de origen animal que exige la sociedad y que generan más emisiones de gas y de excretas (Sahara, 2004; Kelliher *et al.*, 2024). Por este motivo, todas las estrategias de incrementación de productos de origen animal deben de considerar el incremento en la emisión de metano y la propuesta de métodos para minimizar el efecto negativo al cambio climático y para la gestión de estiércol (Aryal *et al.*, 2020; Sondakn *et al.*, 2024).

TIPOS DE FERMENTACIÓN PRE Y POSTGÁSTRICA.

Los rumiantes poseen un aparato digestivo con cámaras fermentativas las cuales permiten que su digestión sea pre gástrica, es decir antes del estómago en donde las encargadas de degradar el alimento son las bacterias y microorganismos presentes y no la actividad enzimática cómo ocurre en el estómago (Gutierrez-Borroto, 2015). Anatómicamente el estómago de los rumiantes abarca aproximadamente el 70% de su cavidad abdominal, el cual está dividido en cuatro segmentos: retículo, rumen, omaso y abomaso, los cuales a excepción del abomaso tienen un epitelio queratinizado ausente de glándulas, siendo el abomaso el que cumple con la función de un estómago, de estos

segmentos el rumen es el más grande y cuenta con ciertas condiciones para poder realizar su importante función fermentativa las cuáles son sustrato nutritivo, anaerobiosis, pH de 5.5 a 6.9, una gran variedad de microorganismos, oscuridad, temperatura entre 38 y 42° C, presión osmótica, eliminación de productos de deshecho, entre otras (Relling *et al.*, 2003; Perez *et al.*, 2024).

El alimento entra por la boca, utilizando los órganos de prensión con los cuáles toman el alimento y lo introducen a la cavidad oral, posteriormente pasan por el esófago hasta llegar a las primeras estructuras que son el retículo-rumen y el omaso donde se almacena el alimento y se da el proceso de fermentación anaeróbica permitiendo la síntesis de proteína microbiana, nitrógeno no proteico, reciclaje de productos de deshecho además de la obtención de las vitaminas del complejo B y posteriormente absorber los productos resultantes y donde como resultado fermentativo se libera CH_4 y CO_2 (Hoffman *et al.*, 1998; Lambo *et al.*, 2024).

Por otro lado, en los animales post gástricos la estructura que se encarga de la fermentación de los alimentos y la absorción de los nutrientes es el ciego, estructura localizada después del estómago siendo la primera porción del intestino grueso (de Blass & Wisswan, 2020). En el intestino grueso, a través de microbiota especializada para degradar paredes celulares los herbívoros fomentadores postgástricos pueden obtener energía de alimentos fibrosos (Harris *et al.*, 2017); siendo diferentes especies de bacterias, levaduras, hongos y protozoarios (Li *et al.*, 2024). Aunque las bacterias cecales son las más descritas y estudiadas, los hongos y protozoarios presentes en el intestino grueso tienen funciones degradadoras de fibra importantes para el proceso fermentativo por lo que no debe perder interés su estudio (Sun *et al.*, 2024). Este

proceso de formación cecal toma relevancia para la degradación de las altas cantidades de fibra que consumen los herbívoros y del que sin el apoyo de la fermentación cecal y las enzimas que aportan los microorganismos no se podrían obtener ácidos grasos de los cuales obtienen energía (Flint *et al.*, 2014; Ren *et al.*, 2024). En el caso del conejo, la ayuda extra que da el proceso de fermentación cecal para la degradación de altas cantidades de fibra puede ser de importancia para producir carne de calidad y con insumos que no compiten con la alimentación humana

PRODUCCIÓN DE CONEJOS A NIVEL MUNDIAL Y EN MÉXICO.

La industrialización del conejo para producir crías, mascotas, piel y carne ha incrementado a nivel global por sus beneficios ya que son animales que requiere poco espacio y presenta alta prolificidad y precocidad además de corto tiempo para finalización (Dalle-Zotte, 2014). La evidencia de este incremento es el 65% de la población mundial en los 10 años anteriores (FAO, 2019) y que según sus estimaciones seguirá creciente; este crecimiento está relacionado con las tendencias actuales de consumir alimentos bifuncionales y que su producción tenga bajas emisiones de gases de efecto invernadero, por lo cual, el consumo promedio de carne de conejo en países europeos tiene un elevado promedio anual de 2200 g por habitante, para Sudamérica representa 700 g y Asia con 500 g anuales, países que representan más del doble de la media global de 250 g al año (FAO, 2019). Con estas estadísticas es evidenciable que, el consumo de carne de conejo a nivel global está ganando terreno contra otras carnes como el pollo, res y cerdo ocupando el quinto lugar del consumo global (Pérez-Hernández, 2023). Aunque a nivel mundial la carne de conejo no se consume con frecuencia, una alternativa que se está utilizando es procesarla en productos como jamón y salchichas que presentan

rendimientos comparables con otras especies para aumentar su consumo además que el hacerlo proporcionará al consumidor compuestos bioactivos que le proporcionarán una alta cantidad de nutrientes a su salud (Cury *et al.*, 2011; Bueno *et al.*, 2023).

El mayor porcentaje de producción de carne de conejo se localiza en la región asiática siendo la república popular de China el principal representante, seguido de Estados Unidos de América y países europeos como España, Francia e Italia y donde la cunicultura se especializó zootécnicamente y donde se ha mejorado su producción (McNitt *et al.*, 2013; Siddiquim, 2023). En el continente americano Venezuela aporta mundialmente con el 16% de la producción de carne mientras que México aporta el 1% global (Siddiquim, 2023) y que lo posiciona como el productor carne de conejo en el número 18 (FAO, 2019).

En México, el incremento en el consumo de carne de conejo se ha mostrado constante, pero no al mismo ritmo de las tendencias mundiales y tampoco de las otras especies pecuarias pollo, cerdos y bovinos (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2015), las cuales, representan el 98% del consumo nacional (Rosas-Peralta *et al.*, 2013; Gutiérrez-García *et al.*, 2022). Esto puede ser explicado por la tendencia de utilizar la carne de conejo para autoconsumo y no como un producto para comercializar en el mercado nacional o internacional (Rosas-Peralta, 2013; Estévez-Moreno & Miranda-de la Lama, 2022). La actividad cunícola intensiva en México está relegada únicamente al 5% en granjas tecnificadas a gran escala mientras que, el otro 95% a productores de traspatio (Calzada-Rovirosa *et al.*, 2015; Soto, 2019). Por el bajo interés diario de la ingestión de carne de conejo, el consumo *per capita* en México ronda los 128 g, motivo que genera el retraso productivo en el desarrollo nacional de la cunicultura (Pérez-Hernández, 2023). Sin

embargo, con las tendencias globales actuales, la cunicultura podría mejorar sus condiciones de producción sobre todo si se impulsan medidas que promocionen sus ventajas y difundan sus beneficios con la ayuda de programas federales y gobiernos municipales (Velez-Izquierdo *et al.*, 2021). Algunos de estos apoyos gubernamentales han sido el subsidio de paquetes de conejos para sus unidades de reproducción, y la búsqueda de tecnologías zootécnicas y desarrollo de razas específicas que beneficien el proceso productivo (Flores-Aguileta, 2016; Soto, 2019). Otra propuesta para incrementar la actividad canícula podrían ser la capacitación de productores y la orientación de las ventajas productivas y económicas que puedan incrementar la información sobre su rentabilidad y buscando aprovechar su alta demanda turística, el corto tiempo en el que llegan a la pubertad, su rápido crecimiento y corta etapa de finalización, el bajo consumo de alimento y el espacio mínimo que requiere su producción (Velez-Izquierdo *et al.*, 2021). Este potencial de mejora en la cunicultura podría beneficiar a una gran cantidad de productores, que según datos del Comité Nacional Sistema Producto Cunícola (2016), en 2014 se reportó que tienen un inventario de 64 mil hembras reproductoras y una producción anual de 54 mil toneladas de carne, siendo los estados del centro del país (Puebla, Morelos, Tlaxcala, Michoacán, Querétaro, y Estado de México) los mayores productores de carne de conejo y donde se busca el platillo asado como un alimento turístico y donde la zona oriente es una importante área cunicultora (Reynoso-Utrera *et al.*, 2023). En los corredores turísticos gastronómicos del país, la carne de conejo se vende asada como platillo principal en restaurantes de la zona y también se ofertan pieles y otras artesanías provenientes de la cunicultura (Rivera *et al.*, 2011). La mayoría de unidades de producción cunícola en esta área son de traspatio, donde suele involucrarse

toda la familia sin conocimientos científicos o técnicos y donde es una actividad secundaria o terciaria a la engorda de otras especies (Pérez-Hernández, 2023).

Otras de las ventajas de la producción cárnica de conejo, es su contenido nutrimental; debido a su alto contenido de proteínas, minerales, ácidos grasos insaturados y cantidades mínimas de grasa y colesterol, su utilización podría contribuir a la salud poblacional al disminuir la incidencia de enfermedades metabólicas, tal como la obesidad (Guevara-Hernández., 2014; Rivero-Perez *et al.*,2019). Además del incremento en la demanda de carne de conejo, la cunicultura como productora de carne tiene ventajas frente a la producción de otras proteínas de origen animal como la baja competencia humano-animal por los insumos alimenticios, su elevada capacidad reproductiva, bajos costos de mano de obra e inversión y mínimos requisitos de instrumentos y espacio para el faenado (Olivares-Pineda *et al.*, 2009; Rivera *et al.*, 2011; Soto, 2019).

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CARNE DE CONEJO EN MÉXICO.

En México, el sistema de traspatio es el más utilizado representando entre el 80 y 90% de la producción total, el cual es empleado principalmente para autoconsumo y en menor porcentaje para la comercialización. Dentro de estos sistemas la alimentación con desperdicios de cocina como restos de vegetales y algunos otros alimentos como pan y tortilla predominan para su producción (Millán *et al.*, 2019). Vélez-Izquierdo *et al.* (2021) identificaron tres estratos en la producción de conejos en el centro de México, cunicultores pequeños, medianos y empresariales siendo los productores medianos la que domina el sistema productivo con el 50% de participación nacional. En los sistemas pequeños y medianos la producción de conejo es realizada junto a otros productos agropecuarios permitiendo a los productores diversificar sus ingresos y utilizando a la

mayoría de la carne de conejo producida para autoconsumo vendiendo solo el excedente (Millan *et al.*, 2019). Por estas razones, se considera al conejo doméstico como micro ganado debido a la calidad nutritiva de la carne y la facilidades de producción pues tienen una eficiencia reproductiva, utilizan poco espacio para su producción, tienen la capacidad de aprovechar los alimentos ricos en fibra es decir de bajo costo y otros desechos orgánicos por lo que no compiten directamente por los granos con la alimentación humana , por todo esto es importante explotar al máximo el potencial del conejo para producir carne sobre todo en países con poco desarrollo (Khan, 2017).

DIGESTIÓN DEL CONEJO: ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA.

Como un mecanismo evolutivo y derivado de su rápida tasa metabólica, los conejos han encontrado la manera de maximizar los nutrientes obtenidos de su alimentación a través de la separación de los compuestos digeribles y de fermentación rápida de los compuestos indigestibles que son desechados de manera rápida.

El inicio del proceso digestivo lo realizan a través de la prensión y corte de los alimentos el cual los conejos lo realizan con la ayuda de los dientes incisivos y con la ayuda de su labio leporino y la masticación con los premolares y molares (Michaeli *et al.*, 1980). Anatómicamente, los lagomorfos tienen dos pares de dientes incisivos (Brewer, 2006) que emplean para seleccionan alimentos y prensan para posteriormente tragarlos (Davies y Davies, 2003). Al ser herbívoros, selectivamente, eligen los brotes y hojas más tiernos y granos para mantener un aporte energético suficiente para su mantenimiento energético que suele ser elevada por tener una alta tasa metabólica (Hirschfeld *et al.*, 1973; Davies y Davies, 2003; de Blass & Wisswan, 2020). Un poco antes del proceso de prensión, la amilasa y galactosidasa se liberan en la boca a través de las glándulas

parótidas, mandibular, sublingual y cigomática para iniciar el proceso digestivo enzimático (Ruckebusch *et al.*, 1991; Miller, 2022).

De la misma forma, evolutivamente los conejos al igual que otros herbívoros han desarrollado sistemas anatómicos y fisiológicos para optimizar los aportes nutrimentales del tejido vegetal, incrementando la degradabilidad de la fibra (de Ome y Leffel, 1972; Gidenne *et al.*, 2012), siendo la fermentación cecal y la actividad cecotrofia las características que han eficientizado el consumo y aprovechamiento de los nutrientes de los conejos (Langer, 2002). Con estas ventajas para digerir hojas y vegetales existe una gran cantidad de insumos que pueden ser utilizados en nutrición de conejos alternativos a las materias primas convencionales y que representan costos elevados que minimizan el retorno económico de la cunicultura, por lo cual la búsqueda de estrategias de alimentación que evalúen la productividad y salud de conejos y mejoren la rentabilidad de los productores (Nieves *et al.*, 2008).

Después del proceso de prensión, el bolo alimenticio es transportado al estómago a través del esófago y el cual no tiene diferencias estructurales ni fisiológicas importantes a las de otros mamíferos herbívoros (Miller, 2022). El estómago del conejo puede albergar el 15% del contenido gastrointestinal y tiene la característica de nunca estar vacío incluso en ayunos de más de 24 h, lo cual da una idea de la capacidad del conejo para consumir alimento durante todo el día y de la necesidad de siempre estar en contacto con alimentos para mantener su metabolismo en óptimas condiciones (Griffiths y Davies, 1963; de Blass & Wisswan, 2020). Dentro del estómago de los conejos, la fibra y los otros alimentos son mezclados con ácido clorhídrico, amilasa y pepsinas ya que, es un estómago de tipo glandular, el cual, se encuentra en la cavidad abdominal en el centro y ligeramente hacia

el lado izquierdo que no cuenta con la capacidad de regresar el alimento a la boca (Both *et al.*, 1958; Irlbeck, 2001). En el fundus estomacal, existen células que secretan el ácido clorhídrico y pepsinógeno mediante los cuales se inicia la digestión de proteínas, almidones y se preparan las grasas (Carabaño y Piquer, 1998; Brewer, 2006). En el estómago, la degradación de celulosa es nula al no secretarse enzimas fibrolíticas (Marounek *et al.*, 1995), pasando la porción de fibra indigestible en el estómago al intestino grueso donde es fermentado y degradado por los microorganismos cecales (Anaya-Lira *et al.*, 2016). Las proteínas y grasas que iniciaron su proceso de degradación en el estómago pasan al intestino delgado donde continúa su proceso de digestión enzimática y donde se absorben los nutrientes (Davies *et al.*, 2003; de Blass & Wisswan, 2020).

Posteriormente pasa a intestino en donde existen colonias de microorganismos que favorecen las condiciones para que el bolo alimenticio se fermente y el resultado de esta fermentación sea aprovechado directamente por el conejo (Combes *et al.*, 2012); aquí las fracciones del bolo alimenticio que continúan al intestino grueso, principalmente la fibra, son fermentadas en el ciego del conejo, donde simbióticamente una comunidad de bacterias, hongos, levaduras, protozoarios, virus y arqueas degradan hasta el 50% del consumo de alimento del conejo (Varga, 2013). Por ello la microbiota debe estar siempre en equilibrio para evitar cualquier trastorno digestivo y asegurar la salud del conejo, pues el ciego está compuesto por colonias bacterianas que lo protegen contra patógenos además de las células epiteliales del ciego y la mucosa por lo que cualquier alteración en él causa trastornos digestivos (Bagóné *et al.*, 2014). Mediante este proceso fermentativo, se obtienen nutrientes a través de la degradación de la fibra, el ciego del conejo es

determinante y por lo cual, su tamaño puede abarcar el 40% del volumen total de tracto y el cual su pH va del 6.0 al 6.5 (Jenkins, 2000; Davies *et al.*, 2003). Este pH está relacionado con el proceso fermentativo que se realiza ahí y por el cual, el contenido del ciego puede ser más de 10 veces mayor al contenido que puede almacenar el estómago (Brewer, 2006). Bajo un pH estable, una temperatura cercana a los 39°C y una anaerobiosis los microorganismos pueden mantener el proceso fermentativo donde la acción de enzimas fibrolíticas, pocas amilolíticas y mínimas arqueas pueden lograr la degradación de fibra y la obtención de moléculas que el conejo puede transformar en energía y otros nutrientes (Varga, 2013). Derivado de que el sustrato principal de este proceso fermentativo es la celulosa y hemicelulosa, el patrón de ácidos grasos volátiles generados ahí tienen una proporción de más del 60% de acetato, 10% propionato y 20% butirato, la liberación de algunos gases de deshecho como metano y dióxido de carbono, nitrógeno amoniacal y proteína microbiana (Pond *et al.*, 1995). Otros autores han reportado proporciones de ácidos grasos volátiles en la fermentación cecal de conejos de 80% ácido acético, 20% ácido propiónico y 10% ácido butírico (García *et al.*, 2002). Estas biomoléculas provenientes de la fermentación son absorbidas por las paredes del ciego, son transportadas al hígado mediante el sistema portal (Anaya-Lira *et al.*, 2016) y mediante la síntesis de proteína microbiana los microorganismos cecales aportan todas las vitaminas del complejo B (Litterio y Aguilar, 2017).

Por estas razones, los incrementos de la actividad fermentativa del ciego pueden mejorar la productividad de los conejos a través del aporte de energía (Mourão *et al.*, 2006), del que algunas estimaciones reportan que este proceso fermentativo puede aportar el 40% de los requerimientos energéticos de mantenimiento de los conejos (Marty

y Vernay, 1984; Carabaño *et al.*, 2020). Adicionalmente, los conejos realizan una actividad mediante la cual pueden incrementar los aportes de nutrientes de sus raciones. La cecotrofia es un proceso que ocurre en el ciego por cuestiones anatómicas debido a que el tamaño del tracto digestivo es corto y limitado dando como resultado que la tasa de pasaje del alimento sea rápida, por lo que no hay tiempo suficiente para satisfacer las necesidades nutricionales, por ello el alimento que no completo su digestión es ingerido nuevamente por el conejo en forma de cecotrofos que toma directamente del ano a la boca reiniciando el ciclo digestivo, ésta es una estrategia para aumentar la digestibilidad de los alimentos que no fueron completamente digeridos (Wang *et al.*, 2019). Este proceso, también incrementa la digestión y la absorción de nutrientes través de un reconsumo del alimento previamente digerido mediante la cecotrofia, la cual son heces enriquecidas nitrógeno presente en los microorganismos que contienen, vitaminas, minerales y residuos de alimentos que no se degradaron o absorbieron durante la primera ingestión (García *et al.*, 2000; Brewer, 2006) y donde también estas fracciones son fermentadas para incrementar la digestibilidad (Sakaguchi, 2015). Los cecotrofos, son las heces húmedas que consume el conejo y la cuales tienen un contenido alto de proteína microbiana que contribuye al crecimiento muscular (Forsythe y Parker, 1985; Zeng *et al.*, 2015; de Blass & Wisswan, 2020) y del que aportan hasta una cuarta parte del requerimiento proteico (Li *et al.*, 2020); estos cecotrofos también aportan riboflavina, niacina y cianocobalamina (Salami *et al.*, 2021).

ALIMENTACIÓN DEL CONEJO.

El conejo es un herbívoro que su sistema digestivo está diseñado para digerir alimentos vegetales de fácil y rápida digestión seleccionando naturalmente hojas y tallos jóvenes, así como granos para la obtención de sus nutrimentos (Davies *et al.*, 2003). Desde este punto, la alimentación de los conejos juega un papel vital para mantener su salud en un nivel óptimo, siendo la cantidad y el tipo de fibra en su dieta el aspecto más importante, así como la cantidad de proteína, debido a que el microbiota del tracto digestivo cambia de acuerdo a la dieta ofrecida y depende de esto los efectos que tiene en el tránsito digestivo (Carbaño *et al.*, 2005). Derivado de su alta degradación de fibra, los conejos pueden ser alimentados con alimentos que en otras especies se consideran de baja calidad (Nieves *et al.*, 2009). Sin embargo, al ser herbívoros, necesitan un alto porcentaje de fibra proveniente de la ración el cual no puede disminuirse por cereales como tradicionalmente se hace en otras especies de herbívoros cuando se someten a engordas intensivas. Esto porque la cantidad y la calidad de la fibra es determinante para su salud digestiva, para su consumo de alimento de varias veces en pequeñas porciones, su rápida tasa de pasaje y su consumo de heces blandas (de Blass & Wisswan, 2020; Gidenne *et al.*, 2020).

ALMIDONES EN LA RACIÓN DE CONEJOS

Dentro de las dietas de conejos se incluyen cereales los cuales tienen un alto valor energético proveniente del endospermo del grano y contienen altos niveles de almidón que abarcan hasta el 70% de su estructura (Luengo, 1998). La digestión del almidón se da principalmente en el intestino y secundariamente en ciego (Amorós, 2002), así el

alimento que se encuentra en el intestino delgado se degrada mediante la amilasa pancreática y la mucosa intestinal en donde el almidón se convierte en ácidos grasos volátiles, los cuales son absorbidos y aprovechados por el conejo y una pequeña parte también es degradada en el ciego (Talma *et al.*, 2019). Se sugiere que la cantidad promedio de almidón que debe ofrecerse a los conejos es de 22% máximo para evitar trastornos digestivos, aunque se menciona que lo ideal es el 11% (Ferrer *et al.*, 1993).

FIBRA DETERGENTE NEUTRO Y FIBRA DETERGENTE ÁCIDO EN LAS RACIONES PARA CONEJO.

En la alimentación de los conejos, la fibra es uno de los principales ingredientes que la componen abarcando el 40% de FDN (García *et al.*, 2012), la cual, juega un papel sumamente importante para los herbívoros como los conejos, debido a que de ella depende su salud digestiva y su adecuado funcionamiento pues estimula la motilidad intestinal, es decir, si no hay una motilidad adecuada (hipomotilidad) el contenido se prolonga en el intestino, provocando alteraciones como disminución en la formación de cecotrofos (Irlbeck, 2001), además la fibra en la dieta tendrá diversos efectos como en el consumo, la tasa de pasaje, la eficiencia digestiva y la actividad microbiana (Thierry-Gidenne, 2004).

El ciego es la estructura anatómica en donde mediante procesos fisiológicos como la acción enzimática, se degrada la celulosa de la fibra convirtiéndola en carbohidratos aprovechables constituyendo hasta el 41% del peso total del tracto digestivo (Mora-Valverde, 2010) y de degradar hasta el 50% de la materia orgánica gracias a esta actividad bacteriana con la que cuenta el ciego y parte del intestino grueso (Lara *et al.*, 2012).

Por ello es importante dar una cantidad adecuada de fibra para no alterar los niveles de pH ni el tránsito intestinal, pues un déficit de ella ocasiona un tránsito lento provocando exceso de peso en el ciego y si se ofrece en exceso aumentan los niveles de pH en el ciego disminuyendo los parámetros fermentativos (García *et al.*, 1998) observando que la FDN es de fácil digestión y facilita la fermentación en el ciego y la FDA es menos digestible y favorece la digestión a nivel gastrointestinal (Romero *et al.*, 2009). Además, se sugiere que el aporte de FDN y digestibilidad de los forrajes pudiera estar relacionado con la formación de CH₄ entérico por lo que, evaluar diferentes fuentes de fibra en las raciones de conejos es de importancia.

ADITIVOS NUTRICIONALES EN CONEJOS.

Dentro de la nutrición de conejos es importante cuidar cada insumo ofrecido pues debido a la fisiología digestiva del conejo se puede alterar con facilidad su correcto funcionamiento porque son altamente sensibles a los cambios lo que resulta en problemas entéricos que pueden provocarles la muerte, por ello, se han implementado estrategias que ayuden a minimizar estos problemas en donde el uso de alimentos concentrados medicados han tenido respuestas positivas aunque también resulta con alteraciones a largo plazo por su uso constante y un incremento en el costo de producción, por lo que derivado de una constante investigación actualmente existe una gran diversidad de aditivos para ser aplicado en la alimentación de los conejos que benefician su salud de distintas formas con la finalidad de mejorar la producción entre los cuales se encuentran los probióticos, los prebióticos, las enzimas, los acidificantes, los extractos naturales, las mezclas herbales, entre otros (Lázaro, 2001; Jaurez-Espinosa *et al.*, 2022).

En la actualidad se busca priorizar el uso de aditivos naturales y minimizar los químicos que pueden afectar la salud del animal y la del consumidor, por ello se utilizan aditivos naturales provenientes de frutos o plantas, al igual que de forma líquida como de levaduras obtenidas a partir de la fermentación del bagazo de manzana que funcionan como probióticos que además son de bajo costo y que se traduce en un aumento en la digestibilidad del alimento que a su vez mejora los parámetros productivos en los animales (Díaz *et al.*, 2018; Jaurez-Espinosa *et al.*, 2022; Adli *et al.*, 2024).

También se utilizan los prebióticos los cuáles no son digestibles para los conejos y su función es alterar de manera positiva la digestión beneficiando el crecimiento de cepas bacterianas benéficas presentes en el tracto digestivo principalmente en el ciego como la inulina que es un carbohidrato no digerible que forma parte de vegetales como el ajo, cebolla, espárragos, entre otros la cual tiene un efecto positivo en la fermentación cecal en los conejos incrementando la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) así como las colonias bacterianas del ciego (Mora *et al.*, 2012; Eldamrawy *et al.*, 2024).

COLINA VEGETAL EN ANIMALES DE GRANJA.

La colina es un nutriente importante para la síntesis de algunos aminoácidos ya que participa como donador de metilos, es integrante estructural de la membrana celular, importante participe de algunos procesos metabólicos de lípidos y carbohidratos y en la formación de acetilcolina (Mahmoud & Ali, 2019; Roque-Jimenez *et al.*, 2020). El producto más utilizado para utilizarse en animales es la colina sintética, pero tiene la desventaja de que es higroscópica, fotosensible y requiere el doble de utilización que la colina vegetal (Mendoza *et al.*, 2021). Además de estas desventajas, las tendencias actuales de cero utilizations de productos químicos en la alimentación de animales productivos, los

aditivos naturales son una alternativa para ser incorporados en la ración de animales productivos por los diversos beneficios que aportan sus metabolitos secundarios en la salud, productividad, reductores de fármacos para prevenir o tratar enfermedades y la disminución de residuos contaminantes (Frankič *et al.*, 2009; Rao *et al.*, 2019). Estos aditivos formulados con plantas, pueden aportar nutrientes como precursores de aminoácidos, minerales o vitaminas (Talukder, 2019; Martínez-Aispuro *et al.*, 2019; El-Sabrou *et al.*, 2023). La colina es una vitamina presente en las membranas celulares de microorganismos, plantas y animales y presente mediante sus conjugados como betaína, lecitina, acetilcolina, fofatidilcolina y otros fosfolípidos (Moreno-Gudiño, 2014; Khan *et al.*, 2023). Es utilizada en la producción de animales de granja, principalmente en la engorda de pollos y huevo de plato, ya que favorece la transmisión de impulsos nerviosos y mejora el metabolismo hepático de los ácidos grasos previniendo lipidosis hepática (Kakasaheb *et al.*, 2019). La colina es un nutriente que al incorporarlo en las raciones está involucrado con la transmisión de impulsos nerviosos y en el metabolismo hepático de los ácidos grasos que previenen la lipidosis hepática y en general a todas las funciones que involucran fosfolípidos (Harshad *et al.*, 2019) como el metabolismo energético celular (Fagone y Jackowski, 2013). Además, se ha utilizado en animales productivos y mascotas (Cuadro. 1) donde se reporta que puede utilizarse sin riesgo tóxico, es más estable que los productos sintéticos y tiene mayor biodisponibilidad esperando mejores rendimientos (Sharma y Ranjan, 2015; Farina *et al.*, 2017).

Cuadro 1. Suplementación de colina herbal en animales

Dosis, g Kd ⁻¹	Especie	Beneficios	Autor
0.1, 0.2, 0.3	Pollos	La colina vegetal es mas eficiente para el aporte de colina y mejora el comportamiento productivo	Petrolli <i>et al.</i> (2020)
3,6, 9	Corderos	La inclusión de colina herbal incrementa la concentración de proteínas sanguíneas lo que sugiere beneficios en su metabolismo e inmunológicos al incrementar globulinas	Martínez-Aispuro <i>et al.</i> (2019)
3, 4, 5	Becerras	La colina vegetal mejora el estado de salud y el crecimiento además de beneficiar la expresión de genes del metabolismo de lípidos, proteínas y carbohidratos	Díaz-Galván <i>et al.</i> (2020)
4	Ovejas gestantes	La suplementación con colina herbal incrementa producción de leche y mejora calidad del calostro	Roque-Jiménez <i>et al.</i> (2020)
0.2,0.4, 0.8	Perros	Beneficia en metabolismo de carbohidratos y lípidos, sugerente efecto en el control de peso y disminuye expresión de genes relacionados al estrés e incrementando su bienestar	Mendoza <i>et al.</i> (2021)
0.2,0.4,0.6, 0.8	Conejos	Incrementa la conversión alimenticia beneficiando el retorno económico	Jaurez-Espinosa <i>et al.</i> (2022)

El mecanismo de acción de la colina vegetal puede ser el aporte de acetilcolina y fosfatidilcolina que eficientizan el metabolismo de la colina y ahorran pasos en su síntesis

metabólica sin la necesidad de donar grupos metilo para su formación (Finkelstein, 2000). Además, algunos autores han reportado que los requerimientos de colina se pueden cubrir a partir de la obtención dietaria de fosfatidilcolina, fosfocolina, betaína, esfingomiélin y glicerofosfocolina (Selvam *et al.*, 2018; Mendoza-Martinez *et al.*, 2022). Los precursores de colina como betaína, metionina o glicerofosfocolina son precursores de metilos importantes para la síntesis de ADN y pueden modificar la expresión de genes inmunitarios, productivos o metabólicos que pueden mejorar el comportamiento productivo (Tost, 2018; Díaz-Galván *et al.*, 2020).

COLINA COMO ADITIVO ESTIMULANTE DE LA MICROBIOTA EN CONEJOS

En conejos, la suplementación de colina se ha desestimado por el aporte que representan los microorganismos presentes en los cecotrofos (De Blas & Wisewan, 2020). Sin embargo, Hove y Copeland, (1954) reportaron que la colina dietaria es importante para el desarrollo y crecimiento de los conejos, además de que otras investigaciones han reportado que la deficiencia de colina dietaria en conejos ha mostrado incapacidad del hígado de metabolizar los residuos tóxicos del organismo y ha sugerido la aparición de cirrosis hepática (Vahter y Marafante, 1987; Li *et al.*, 2020). además, se ha reportado distrofia muscular y pérdida del tejido cuando la colina no satisface los requerimientos del conejo (Li *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2023).

Además del cloruro de colina, la colina proveniente de fuentes vegetales se ha probado en la engorda de conejos incrementando el consumo de alimento y la ganancia diaria de peso (Jaurez-Espinosa *et al.*, 2022) a través de optimizar el metabolismo de la energía celular al saltarse reacciones en la ruta metabólica de la colina por tener

intermediarios como betaína, fosfatidilcolina y fosfocolina (Fagone & Jackowski, 2013); se reporta que es más estable que los productos sintéticos y cuenta con mayor biodisponibilidad (Kakasaheb *et al.*, 2019) y se puede utilizar con mejores resultados que el cloruro de colina (Sharma y Ranjan, 2015; Farina *et al.*, 2017).

3. JUSTIFICACIÓN

Los conejos tienen la necesidad de consumir carbohidratos estructurales para obtener nutrientes, siendo el aporte de FDN básico para su salud digestiva y mantener el comportamiento productivo. Para realizar la digestión, la microbiota cecal transforma los carbohidratos estructurales en ácidos grasos de cadena corta con los que los conejos pueden obtener energía. Sin embargo, este proceso genera gases secundarios (CH_4) que se traducen en pérdidas en el aporte energético de las raciones y en emisiones que contaminan el medio ambiente. La manipulación de la fuente de fibra podría influir en la generación de metano a través del cambio en la microbiota intestinal, pero es necesario determinar si diversas fuentes de fibra en las raciones de conejos generan enfermedades entéricas y si la inclusión de un aditivo formulado con colina vegetal puede optimizar los parámetros fermentativos y contribuir a la disminución de la generación de CH_4 en conejos. Debido a la baja emisión de gases de efecto invernadero de los conejos se ha desestimado la investigación de generación, aporte y estrategias de mitigación de CH_4 , pero, se reporta que la población mundial de conejos ha incrementado exponencialmente desde 1960 y a un ritmo más acelerado que el de los rumiantes y debido a la escalabilidad que tienen como productores de carne. Por lo cual, la identificación de estrategias nutricionales y la inclusión de aditivos naturales que puedan disminuir la generación de metano entérico podría ser de utilidad para contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la inclusión de colina herbal y tres diferentes fuentes de fibra en la fermentación del ciego y la producción de metano.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el comportamiento productivo de conejos alimentados con diferentes fuentes de fibra y si existen mejorar al adicionar colina herbal
- Estimar el efecto de colina herbal y tres fuentes de fibra en la fermentación cecal de conejos en finalización.
- Determinar el efecto en la generación de metano *in vitro* de conejos alimentados con tres fuentes de fibra y la adición de colina herbal.

5. MATERIALES Y METODOS

El experimento se condujo en el Centro Universitario UAEM Amecameca de la Universidad Autónoma del Estado de México, dentro de las instalaciones metabólicas para conejos en la la Posta Zootécnica y el Laboratorio Multidisciplinario de Investigación. El experimento se condujo, previo a la aprobación del comité de ética de la investigación del CU UAEM Amecameca y bioética con el número de asignación 15 de la sesión del 15 de mayo de 2022.

ANIMALES, RACIONES EXPERIMENTALES Y PRUEBA PRODUCTIVA.

Para lo cual, se emplearon 72 conejos de la raza Nueva Zelanda con California de 41 días de edad con un peso inicial de 1.06 ± 0.08 kg que fueron aleatorizados a tres raciones (n=12) con diferentes fuentes de fibra (salvado de trigo, alfalfa y paja de avena) y dos inclusiones (0 y 600 mg kg⁻¹) de Colina herbal ® (Nuproxa Mexico, Indian Herbs) formulado con *Achyranthes aspera*, *Trachyspermum ammi*, *Azadirachta indica*, *Citrullus colocynthis* y *Andrographis paniculata*.

Las raciones fueron formuladas para conejos en finalización con aporte de proteína, energía y FDN similares (NRC, 1977; Cuadro 2). A cada ración se determinó materia seca, cenizas y nitrógeno total (AOAC, 2005), fibra detergente neutro y ácido, empleando la metodología propuesta por van Soest *et al.* (1991); así como energía digestible y energía metabolizable. Se estimó el aporte energético de las raciones para tratar de determinar el cambio energético de las raciones con respecto al tipo de fibra y la inclusión del aditivo formulado con plantas (De Blas & Wisewan, 2020). Durante 40 días los conejos fueron alimentados con las raciones experimentales y se les midió diariamente consumo

voluntario de alimento, fueron pesados al inicio y cada semana de experimentación para obtener ganancia diaria de peso y conversión alimenticia. A partir del día 25 de experimentación se tomaron muestras de heces a durante cinco días para determinar la digestibilidad utilizando la técnica de cenizas insolubles en ácido (Van Keulen & Young, 1977).

Cuadro 1. Dietas experimentales y composición química estimada de raciones para conejos con tres fuentes de fibra y un polihierbal.

Fuente de fibra	Salvado Trigo		Alfalfa		Paja de Avena	
Formula Polihierbal ^a , mg Kg ⁻¹	0	600	0	600	0	600
<i>Ingredientes, %</i>						
Trigo, salvado	25	25	14	14	9	9
alfalfa, heno	19	19	28	28	19	19
Avena, heno	18	18	15	15	20	20
Maíz, grano	21	21	25	25	29	29
Soya, pasta	14	14	15	15	20	20
Aceite vegetal	2	2	2	2	2	2
<i>Saccharomyces cerevisae</i>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Premezcla mineral	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
<i>Composición Química, %</i>						
Materia Seca	90.5	90.0	91.2	90.8	91.4	90.9
Proteína Cruda	17.3	17.4	17.7	17.9	16.6	16.4
Fibra detergente neutro	31.9	32.1	32.6	32.5	35.4	35.8
Fibra detergente ácido	15.1	15.2	20.5	20.3	24.8	24.3
Cenizas	5.29	5.36	5.40	5.55	5.92	6.02

CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES.

Una vez transcurrida la prueba productiva, los conejos fueron sacrificados bajo la Legislación Mexicana NOM-033-SAG/ZOO2014 y se obtuvo el contenido cecal de cada conejo, al cual se midió pH, se filtró mediante gasa y se tomó 1 mL de líquido cecal el cual, fue acidificado en relación 1:4 con ácido metafosfórico y refrigerado a 2 °C hasta su posterior análisis de AGV por cromatografía de gases para lo cual, se utilizó un equipo Clarus 580 de Perkin Elmer equipado con una columna capilar de 30 m x 0.25 mm x 0.25 µm (Aglient Technologies) y nitrógeno para arrastre (Erwin *et al.*, 1964).

PRODUCCIÓN DE GAS *IN VITRO* Y ESTIMACIÓN DE METANO Y DIÓXIDO DE CARBONO.

El contenido restante de los ciegos se homogenizará por tratamiento para realizar incubaciones *in vitro* por la técnica de Theodorou *et al.* (1994) para la cual, se preparará una solución mineral estandarizada que contendrá el líquido cecal, minerales, un buffer y una solución reductora para aportar nutrientes y mantener la anaerobiosis de la fermentación cecal (Ferraro *et al.*, 2009). Para las incubaciones *in vitro* se utilizarán frascos ámbar de 120 mL de capacidad provistos de un tapón de goma y un arillo de metal dentro de los cuales se añadirán 90 mL del inóculo cecal estandarizado y 500 mg de la dieta experimental molido a un tamaño de partícula de 2 mm. Durante el proceso de llenado cada frasco será gaseado con CO₂ para garantizar las condiciones anaeróbicas. Utilizando un baño húmedo serán provistos de temperatura constante (39 °C). Se tomarán lecturas de presión de gas utilizando un manómetro digital a las 3, 6, 9,

12, 24, 36, 48 y 722. En cada fracción de tiempo se medirá fase *lag* (L), volumen máximo (Vm) y tasa de producción de gas (S) para utilizar el modelo propuesto por Menke & Steingass (1988): $Y=v/(1+\exp(2-4*s*(t-L)))$. Se utilizarán cuatro repeticiones por tratamiento y cuatro frascos como blanco (únicamente con la solución mineral estandarizada) los cuales se utilizarán para corregir las medias de cada variable.

Para la estimación de CH₄ y CO₂ se realizarán trampas utilizando frascos ambar de 120 mL los cuales, serán llenados con 40 mL de hidróxido de potasio 1N (Osorio-Teran *et al.*, 2017). Se utilizarán tres frascos de incubaciones *in vitro* a los que no se tomarán lecturas de presión de gas. Una vez terminado el proceso fermentativo (6 h), utilizando una jeringa de vidrio de 150 mL de capacidad se tomará el gas producido y posteriormente será depositado en las trampas con hidróxido de potasio buscando capturar el CH₄ presente en la muestra. Una vez terminado el proceso de captura del gas, cada trampa será titulada con ácido clorhídrico 0.55N, 1 mL de hidróxido de potasio y rezarsurina y los valores ajustados a la fórmula descrita por Osorio-Teran *et al.* (2017). El CO₂ se atribuirá al gas residual que no se quede en las trampas.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los datos productivos, fermentación cecal y CH₄ se analizaron mediante un diseño completamente al azar, realizando un arreglo factorial 3x2 (tres fuentes de fibra y dos inclusiones de colina herbal) utilizando un nivel de significancia de $P < 0.1$.

Para la producción de gas *in vitro* y la estimación de CH₄ se utilizaron cuatro repeticiones por tratamiento y cuatro frascos como blanco (únicamente con la solución mineral estandarizada) los cuales se utilizarán para corregir las medias de cada variable. Los

datos se analizaron mediante un diseño completamente al azar y utilizando un arreglo factorial 3x2 (tres fuentes de fibra y dos inclusiones de colina herbal) con un nivel de significancia de $P < 0.1$.

6. RESULTADOS

Como producto escrito de esta investigación se envió un artículo a la revista Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, el cual lleva por título **“Productivity and methane emissions of rabbits fed with different fiber sources supplemented with herbal choline”**.

Submission Confirmation for Productivity and methane emissions of rabbits fed with different fiber sources supplemented with herbal choline.

De: Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences (em@editorialmanager.com)

Para: pedro_abel@yahoo.com

Fecha: martes, 2 de abril de 2024, 06:30 p. m. CST

Dear Dr. Hernández García,

Your submission entitled "Productivity and methane emissions of rabbits fed with different fiber sources supplemented with herbal choline." has been received by Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to Editorial Manager as an author. The URL is <https://www.editorialmanager.com/turkjetanimsci/>. Your User Name is pedro_abel.

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences
<https://www.editorialmanager.com/turkjetanimsci/>

7. CONCLUSIÓN

Es importante buscar alternativas de alimentación que disminuyan costos de producción y que mantenga la productivas de conejos en finalización aprovechando su alta capacidad para utilizar fibra. Derivado de esta investigación se puede concluir que la utilización de forrajes alternativos en la alimentación de conejos es viable ya que se mantiene la productividad, sin embargo, es importante realizar más investigaciones que determinen cuales forrajes pueden ser candidatos ya que la fuente de fibra tiene efecto en la digestibilidad de la MS y la FDN y esto podría influir en la salud del conejo.

Con el fin de mejorar la digestibilidad de estos forrajes, las fuentes de colina vegetal son una opción viable para mejorar la utilización de forrajes con bajo aporte nutricional ya que incrementa la ganancia diaria de peso y el peso final. De la misma forma, 600 mg Kg⁻¹ de colina vegetal disminuye las emisiones de metano de conejos en finalización por lo que su utilización podría contribuir a disminuir aún más las emisiones de metano de estos animales.

8. REFERENCIAS

- Adli, D. N., Sugiharto, S., Irawan, A., Tribudi, Y. A., Wibowo, S., Azmi, A. F. M., Sadarman, S. (2024). The effects of herbal plant extract on the growth performance, blood parameters, nutrient digestibility and carcass quality of rabbits: A meta-analysis. *Heliyon*.
- Alayón-Gamboa, J.A. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. *Agro Productividad*, 11(2) 9-15.
- Anand, S., Dahiya, R. P., Talyan, V., & Vrat, P. (2005). Investigations of methane emissions from rice cultivation in Indian context. *Environment International*, 31(4), 469-482.
- AOAC. (2005). Official methods of analysis. Arlington, VA, USA.
- Aryal, J.P., Sapkota, T.B., Khurana, R., Khatri-Chhetri, A., Rahut, D.B., Jat, M.L. (2020). Climate change and agriculture in South Asia: Adaptation options in smallholder production systems. *Environment, Development and Sustainability*, 22(6), 5045-5075.
- Ballesteros, H.B., Aristizabal, G.L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia). 96p.
- Banakar, P.S., Sarkar, S., Tyagi, B., Vinay, V.V., Chugh, T., Kumar, S., Tyagi, N. Tyagi, A.K. (2019). Effect of dietary plant secondary metabolites on rumen fermentation and microbial community: A review. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 36(2), 107-112.
- Belenguer, A., Fondevila, M., Balcells, J., Abecia, L., Lachica, M., Carro, M.D. (2008). *In vivo* and *in vitro* study of cecal fermentation pattern and methanogenesis in rabbits. In *Proceedings of 9th World Rabbit Congress, Verona, Italy* (pp. 535-540).
- Bellarby, J., Tirado, R., Leip, A., Weiss, F., Lesschen, J. P., & Smith, P. (2013). Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global change biology*, 19(1), 3-18.

- Brotóns, N. J., Blasco, M. (2004). Hipomotilidad gastrointestinal en conejos: 7 casos clínicos. *Clínica veterinaria de pequeños animales*, 24(4), 0211-219.
- Bueno, L.O., Bittencourt, M.T., Machado, L.C., Ramos, A.D.L.S., Ramos, E.M. (2023). Technological performance of different rabbit meat cuts in processing cured cooked ready-to-eat meat products. *Ciência Animal Brasileira*, 24, e-73917.
- Calzada-Rovirosa, J., Sanchez-Cruz, E. Fragoso-Sanchez, H., Rojas-Villegas S.E., Tovar-Díaz, A.L. (2015). Manual de buenas prácticas de producción de carne de conejo. SAGARPA-SENASICA. 1° Edición. México.
- Carabaño, R., Piquer, J., Menoyo, D., Badiola, I. (2020). The digestive system of the rabbit. *Nutrition of the rabbit*, (Ed. 3), 1-20.
- Carabaño, R., Rebollar, P.G., Gómez-Conde, M.S., Chamorro, S., García, J., & de Blas, C. (2005). Nuevas tendencias en la alimentación de conejos: Influencia de la nutrición sobre la salud intestinal. *XXI Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España*, 113.
- Carmona, J.C., Bolívar, D.M., Giraldo, L.A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49-63.
- Chang, J., Peng, S., Ciais, P., Saunois, M., Dangal, S. R., Herrero, M., Bousquet, P. (2019). Revisiting enteric methane emissions from domestic ruminants and their $\delta^{13}\text{CCH}_4$ source signature. *Nature Communications*, 10(1), 1-14.
- Cieslak, A., Zmora, P., Pers-Kamczyc, E., Szumacher-Strabel, M., (2012). Effects of tannin source (*Vaccinium vitis idaea L.*) on rumen microbial fermentation *in vivo*. *Animal Feed Science and Technology*, 176, 102–106.
- Combes, S., Fortun-Lamothe, L., Cauquil, L., Gidenne, T. (2012). Controlling the rabbit digestive ecosystem to improve digestive health and efficacy. In *Proc: 10th World Rabbit Congress, Sharm El Sheik, Egypt*.

- Contreras, W., Hardy, C., Tovar, K., Piwetz, A.M., Harris, C.R., Tullos, E.E., Laurenzi, I.J. (2021). Life cycle greenhouse gas emissions of crude oil and natural gas from the Delaware Basin. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129530.
- Couespel, D., Lévy, M., Bopp, L. (2024). Stronger Oceanic CO₂ Sink in Eddy-Resolving Simulations of Global Warming. *Geophysical Research Letters*, 51(4), e2023GL106172.
- Cullere, M., Dalle Zotte, A. (2018). Rabbit meat production and consumption: State of knowledge and future perspectives. *Meat Science*, 143, 137-146.
- Cury, K., Martínez, A., Aguas, Y., Olivero, R. (2011). Caracterización de carne de conejo y producción de salchicha. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 3(2), 269-282.
- Dalle Zotte, A. (2014). Rabbit farming for meat purposes. *Animal Frontiers*, 4, 62–67.
- Dalle-Zotte, A. (2002). Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock production science*, 75(1), 11-32.
- Davies, R.R., Davies, J.A.R. (2003). Rabbit gastrointestinal physiology. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*, 6(1), 139-153.
- De Blas, C., Wisewan, J. (2020). *Nutrition of the Rabbit*. CABI Publishing. London, UK.
- De, M., Dhote, M. (2024). Conservation of Natural Resources to address Climate Change and International Solidarity. *Educational Research (IJMCER)*, 6(2), 159-168.
- Díaz-Galván, C., Méndez-Olvera, E.T., Martínez-Gómez, D., Gloria-Trujillo, A., Hernández-García, P.A., Espinosa-Ayala, E., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G.D. Velázquez Cruz, L.A. (2021). Influence of a polyherbal mixture in dairy calves: growth performance and gene expression. *Frontiers in Veterinary Science*, 1217.
- Dressler, E.A., Bormann, J.M., Weaber, R.L., Rolf, M.M. (2024). Use of methane production data for genetic prediction in beef cattle: A review. *Translational Animal Science*, txae014.

- Eldamrawy, S.Z., El-Deep, M.H., Magouz, A.M., El-Rayes, T.K. (2024). Effect of Aloe vera Gel Supplementation as a Natural Source of Mannan Oligosaccharides on Productive Performance and Oxidative Status of Growing Rabbits. *Journal of Sustainable Agricultural and Environmental Sciences*, 3(1), 79-86.
- El-Sabrou, K., Khalifah, A., Ciani, F. (2023). Current applications and trends in rabbit nutraceuticals. *Agriculture*, 13(7), 1424
- Erwin, E.S., Marco, G.J., Emery, E.M. (1961). Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*. 44:1768–1771.
- Estévez-Moreno, L. X., Miranda-de la Lama, G. C. (2022). Meat consumption and consumer attitudes in México: Can persistence lead to change?. *Meat Science*, 193, 108943.
- Fagone, P., Jackowski, S. (2013). Phosphatidylcholine and the CDP–choline cycle. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*. 1831(3): 523-532.
- FAOSTAT. (2022). Ganadería. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> . Consultado 12 Abril, 2024.
- Farina, G., Kessler, A., Ebling, P., Marx, F., César, R., Ribeiro, A. (2017). Performance of broilers fed different dietary choline sources and levels. *Ciência Animal Brasileira*. 18.
- Feinberg, A. (2024). Annual Solar Geoengineering: Mitigating Yearly Global Warming Increases. *Climate*, 12(2), 26.
- Fernández-Reyes, R., Piñuel-Raigada, J.L., Vicente-Mariño, M. (2015). La cobertura periodística del cambio climático y del calentamiento global en El País, El Mundo y La Vanguardia. *La cobertura periodística del cambio climático y del calentamiento global en El País, El Mundo y La Vanguardia*, (70), 122-140.

- Ferraro, S.M., Mendoza, G.D., Miranda, L.A., Gutierrez, C.G. (2009). *In vitro* gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology*, 154(1–2), 112–118.
- Ferrer, E.B., Gómez, L.M., Frías, C.C., Carmona, J.F. (1993). Utilización de piensos de distinto contenido en fibra y almidón en la primera fase del cebo de conejos. In *XVIII Symposium de cunicultura: Granollers, 20 y 21 de mayo de 1993* (pp. 59-61). Asociación Española de Cunicultura (ASESCU).
- Ferrer, Y., Pérez, H. (2010). Los microorganismos en la digestión anaerobia y la producción de biogás. Consideraciones en la elección del inóculo para el mejoramiento de la calidad y el rendimiento. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 43(1), 9-20.
- Finkelstein, J.D. (2000). Pathways and Regulation of Homocysteine Metabolism in Mammals. *Seminars in Thrombosis and Hemostasis*. 26, 219–226.
- Flint, H. J., Scott, K. P., Duncan, S. H., Louis, P., Forano, E. (2012). Microbial degradation of complex carbohydrates in the gut. *Gut microbes*, 3(4), 289-306.
- Flores-Aguileta, DJ. (2016). Análisis situacional y propuesta de estrategias para apoyar el desarrollo de la cunicultura de tipo semi-industrial en el municipio de Texcoco, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- FrAnKlČ, T., Voljč., M, Salobir, J., Rezar, V. (2009). Use of herbs and spices and their extracts in animal nutrition. *Acta Agriculturae Slovenica*, 94(2): 95–102.
- Garduño, R. (2004). ¿Qué es el efecto invernadero? *Cambio climático: una visión desde México*, 29. 1ª Edición. Ciudad de México. ISBN: 968-817-704-0
- Gidenne, T. (2003). Fibres in rabbit feeding for digestive troubles prevention: respective role of low-digested and digestible fibre. *Livestock Production Science*, 81(2-3), 105-117.
- Gidenne, T., Jehl, N., Lapanouse, A., Segura, M. (2004). Inter-relationship of microbial activity, digestion and gut health in the rabbit: effect of substituting fibre by starch

in diets having a high proportion of rapidly fermentable polysaccharides. *British Journal of Nutrition*, 92(1), 95-104.

Gidenne, T., Lebas, F., Fortun-Lamothe, L. (2020). Feeding behaviour of rabbits. In *Nutrition of the Rabbit*. CABI Publishing. London, UK.

Gómez-Conde, M.S., de Rozas, A.P., Badiola, I., Pérez-Alba, L., de Blas, C., Carabaño, R., García, J. (2009). Effect of neutral detergent soluble fibre on digestion, intestinal microbiota and performance in twenty-five-day old weaned rabbits. *Livestock Science*, 125(2-3), 192-198.

Griffiths M, Davies D. (1963). The role of the soft pellets in the production of lactic acid in the rabbit stomach. *Journal of Nutrition*. 1963;80:171–80.

Guevara-Hernández, F., Rodríguez, L. (2014). Rabbits as an element of food security in rural areas of Chiapas, Mexico. *Pensee*, 76(2).

Gustafsson, O., Krusa, M., Zencak, Z., Sheesley, R. J., Granat, L., Engstrom, E., Rodhe, H. (2009). Brown clouds over South Asia: biomass or fossil fuel combustion?. *Science*, 323(5913), 495-498.

Gutiérrez-Borroto, O. (2015). La fisiología digestiva del rumiante, objeto de investigación en el Instituto de Ciencia Animal durante cincuenta años. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(2), 179-188.

Gutiérrez-García, G., Espinosa-Ayala, E., Márquez-Molina, O. (2022). Evaluación de la sustentabilidad de la cunicultura de traspatio en el Estado de México mediante el método IDEA. *Terra Latinoamericana*, 40.

Haque, M.N. (2018). Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of animal science and technology*, 60(1), 1-10.

Harris, P.A., Ellis, A.D., Fradinho, M.J., Jansson, A., Julliand, V., Luthersson, N., Santos, A.N., Vervuert, I. (2017). Feeding conserved forage to horses: recent advances and recommendations. *Animal*, 11(6), 958-967.

- Harshad, K., Sathiyarayanan, L., Arulmozhi, S., & Kakasaheb, M. (2019). Standardization, anti-carcinogenic potential and biosafety of Indian propolis. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine (J-AIM)*, 10(2), 81-87.
- He, T., Ding, W., Cheng, X., Cai, Y., Zhang, Y., Xia, H., Xia, W., Jiehao, Z., Kerong, Z., Zhang, Q. (2024). Meta-analysis shows the impacts of ecological restoration on greenhouse gas emissions. *Nature Communications*, 15(1), 2668.
- Herrero, M., Gerber, P., Vellinga, T., Garnett, T., Leip, A., Opio, C., McAllister, T. A. (2011). Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 779-782.
- Hofmann, R.R. (1988). Anatomy of the gastro-intestinal tract. *The ruminant animal, digestive physiology and nutrition*, 14-43.
- Houghton, J. (2005). Global warming. *Reports on progress in physics*, 68(6), 1343.
- Hoyles, L., Jiménez-Pranteda, M.L., Chilloux, J., Brial, F., Myridakis, A., Arantias, T., Magnan, C., Gibson, G.R., Sanderson, J.D., Nicholson, J.K., Gauguier, D., McCartney, A., Dumas, M. E. (2018). Metabolic retroconversion of trimethylamine N-oxide and the gut microbiota. *Microbiome*, 6(1), 1-14.
- Iglesias, A., Medina, F. (2009). *Consecuencias del cambio climático para la agricultura: una problema de hoy o del futuro?* (No. 1102-2016-90903, pp. 45-70).
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Irlbeck, N.A. (2001). How to feed the rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) gastrointestinal tract. *Journal of animal science*, 79 (suppl_E), E343-E346.
- Jaramillo-Villanueva, J.L., Vargas-López, S., Guerrero Rodríguez, J.D.D. (2015). Preferencias de consumidores y disponibilidad a pagar por atributos de calidad en carne de conejo orgánico. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 6(2), 221-232.

- 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.
- Kasting, J.F. (1998). The carbon cycle, climate, and the long-term effects of fossil fuel burning. *Consequences*, 4(1), 15-27.
- Kelliher, M., Bogueva, D., Marinova, D. (2024). Meta-Analysis and Ranking of the Most Effective Methane Reduction Strategies for Australia's Beef and Dairy Sector. *Climate*, 12(4), 50.
- Khan, K., Khan, S., Khan, N. A., Ahmad, N. (2017). Production performance of indigenous rabbits under traditional and intensive production systems in Northern Pakistan. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(1), 75-81.
- Khan, M. Z., Liu, S., Ma, Y., Ma, M., Ullah, Q., Khan, I. M., Wang, J., Xiao, J., Chen, T., Khan, A., Cao, Z. (2023). Overview of the effect of rumen-protected limiting amino acids (methionine and lysine) and choline on the immunity, antioxidative, and inflammatory status of periparturient ruminants. *Frontiers in Immunology*, 13, 1042895.
- Kušar, D., Avguštin, G. (2010). Molecular profiling and identification of methanogenic archaeal species from rabbit caecum. *FEMS Microbiology Ecology*, 74(3), 623-630.
- Lambo, M.T., Ma, H., Liu, R., Dai, B., Zhang, Y., Li, Y. (2024). Mechanism, effectiveness, and the prospects of medicinal plants and their bioactive compounds in lowering ruminants' enteric methane emission. *animal*, 101134.
- Lara, P.E., Itzá, M.F., Sanginés, J.R., Magaña, M.A. (2012). *Morus alba* o *Hibiscus rosa-sinensis* como sustituto parcial de soya en dietas integrales para conejos. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(3), 9-19.

- Lassey, K.R. (2007). Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agricultural and forest meteorology*, 142(2-4), 120-132.
- Lázaro, I.M. (2001). Las nuevas estrategias de alimentación del conejo: aditivos y alternativas al uso de antibióticos. In *XXVI Symposium de cunicultura de ASESCU* (pp. 51-68). Asociación Española de Cunicultura (ASESCU).
- Li, R., Li, X., Huang, T., Wang, Y., Xue, M., Sun, S., Yan, D., Song, G., Sun, G., Li, M. (2020). Influence of cecotrophy on fat metabolism mediated by caecal microorganisms in New Zealand white rabbits. *Journal of animal physiology and Animal nutrition*, 104(2), 749-757.
- Li, X., Li, H., Fang, X., Li, C., Yu, J., Dai, J., Liu, X., Liu, K., He, R., Liu, A., Ni, W., Hu, S. (2024). Isolation and functional study of efficient cellulose degrading bacteria from horse cecum contents. *Heliyon*. Doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28437
- Liu, S., Yuan, M., Jin, D., Wang, Z., Zou, H., Wang, L., Xue, B., Wu, D., Tian, G., Cai, J., Yan, T. Peng, Q. (2018). Effects of the particle of ground alfalfa hay on the growth performance, methane production and archaeal populations of rabbits. *PLoS one*, 13(9), e0203393.
- Luengo, R.C. (1995). Valor nutritivo de los cereales en conejos. Departamento de Producción Animal, U.P.Madrid
- Martín, N.N., García, J., Carabaño, R., Méndez, J., de Blas Beorlegui, C. (1998). Efecto de la concentración de lignina en la dieta sobre la digestión en conejos. In *XXIII Symposium de cunicultura* (pp. 161-164). Asociación Española de Cunicultura (ASESCU).
- Martínez-Aispuro, J., Mendoza G., Cordero-Mora J., Ayala-Monter M., Sánchez-Torres, M.T., Figueroa-Velasco J., Vázquez-Silva G., Gloria-Trujillo A. (2019). Evaluation of an herbal choline feed plant additive in lamb feedlot rations. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48.

- McNitt, J.I., Lukefahr, S.D., Cheeke, P.R., Patton, N.M. (2013). Rabbit production. Oxfordshire: CABI Publishers.
- Mendoza-Martínez, G.D.; Hernández-García, P.A.; Plata-Pérez, F.X.; Martínez-García, J.A.; Lizarazo-Chaparro, A.C.; Martínez-Cortes, I.; Campillo-Navarro, M.; Lee-Rangel, H.A.; De la Torre-Hernández, M.E.; Gloria-Trujillo, A. (2022). Influence of a Polyherbal Choline Source in Dogs: Body Weight Changes, Blood Metabolites, and Gene Expression. *Animals*, 12, 1313.
- Menke, K.H., Steingass, H., (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal research and development*. 28, 7–55.
- Mi, L., Yang, B., Hu, X., Luo, Y., Liu, J., Yu, Z., Wang, J. (2018). Comparative analysis of the microbiota between sheep rumen and rabbit cecum provides new insight into their differential methane production. *Frontiers in microbiology*, 9, 575.
- Michaeli, Y., Hirschfeld, Z., Weinreb, M. M. (1980). The cheek teeth of the rabbit: morphology, histology and development. *Cells Tissues Organs*, 106(2), 223-239.
- Millán, M.L.G., de Oca, E.R.M., Patiño, M.A.R., Fernández, C.S., Barbosa, L.A.L., León, A.C., Matías, F.G. (2019). La cunicultura de traspatio como parte de las estrategias de seguridad alimentaria en Morelos, México. *Revista ESPAMCIENCIA*. ISSN 1390-8103, 10(2), 43-51.
- Miller, C. (2022). Small mammal herbivores part 1: digestive system adaptations to a herbivorous diet. *The Veterinary Nurse*, 13(7), 312-317.
- Mora, F. X., Gifra, J. (2012). Los aditivos en alimentación cunícola. Presente y futuro. *cunicultura*.
- Mora-Valverde, D. (2010). Usos de la morera (*Morus alba*) en la alimentación del conejo. El rol de la fibra y la proteína en el tracto digestivo. *Agronomía mesoamericana*, 21(2), 357-366.

- Nieves, D., Schargel, I., Terán, O., González, C., Silva, L., Ly, J. (2008). Estudios de procesos digestivos en conejos de engorde alimentados con dietas basadas en follajes tropicales: digestibilidad fecal. *Revista Científica*, 18(3), 271-277.
- Nieves, D., Schargel, I., Terán, O., González, C., Silva, L., Ly, J. (2008). Estudios de procesos digestivos en conejos de engorde alimentados con dietas basadas en follajes tropicales. Digestibilidad fecal. *Revista Científica*, 18(3), 271-177.
- Nieves, D., Terán, O., Vivas, M., Arciniegas, G., González, C., Ly, J. (2009). Comportamiento productivo de conejos alimentados con dietas basadas en follajes tropicales. *Revista Científica*, 19(2), 173-180.
- NRC. (1977). Nutrient requirements of rabbits. Second Revised Ed. National academy of sciences-National Research Council, Washington, DC.
- O'Mara, F.P. (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 7-15.
- O'Mara, F.P. (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 7-15.
- Olivares-Pineda, R., Gómez-Cruz, M.Á., Schwentesius-Rindermann, R., Carrera-Chávez, B. (2009). Alternativas a la producción y mercadeo para la carne de conejo en Tlaxcala, México. *Región y sociedad*, 21(46), 191-207. Recuperado en 09 de abril de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252009000300008&lng=es&tlng=
- Osorio-Teran, A.I., Mendoza-Martínez, G., Miranda-Romero, L.A., Martínez-Gomez, D., Hernández-García, P.A., Martínez-García, J.A. (2017). Effect of calcium propionate and monensin on *in vitro* digestibility and gas production. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 348-353.
- Para, P.A., Ganguly, S., Wakchaure, R., Sharma, R., Mahajan, T., Praveen, P.K. (2015). Rabbit meat has the potential of being a possible alternative to other meats as a

protein source: A brief review. *International Journal of Pharmaceutical And Bio-Medical Science*. 2: 17-19.

Pascual-Amorós, J.J. (2001). Early weaning of young rabbits: a review. *World Rabbit Science*, 9(4) 165-170.

Pérez Hernández, F. E. (2023). Consumo de la carne de conejo en el Estado de Morelos. Tesis de ingeniería. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Perez, H. G., Stevenson, C. K., Lourenco, J. M., Callaway, T. R. (2024). Understanding Rumen Microbiology: An Overview. *Encyclopedia*, 4(1), 148-157.

Petracci, M., Cavani, C. (2013). Rabbit meat processing: historical perspective to future directions. *World Rabbit Science*, 21(4), 217-226.

Petrolli, T.G., Petrolli, R.R., Aniecevski, E., Facchi, C.S., Leite, F., Dal Santo, A., Calderano, A.A. (2021). Vegetable choline as a replacement for choline chloride in broiler feed. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 43, e53265-e53265.

Petrolli, T.G., Petrolli, R.R., Aniecevski, E., Facchi, C.S., Leite, F., Santo, A.D., Pagnussatt, H., Calderano, A.A. (2021). Vegetable choline as a replacement for choline chloride in broiler feed. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 43, e53265.

Qiu, Y., Liu, S., Hou, L., Li, K., Wang, L., Gao, K., & Jiang, Z. (2021). Supplemental Choline Modulates Growth Performance and Gut Inflammation by Altering the Gut Microbiota and Lipid Metabolism in Weaned Piglets. *The Journal of Nutrition*, 151(1), 20-29.

Rao S, Raju, M, Prakash B, Rajkumar U, Reddy E. (2019). Effect of supplementing moringa (*Moringa oleifera*) leaf meal and pomegranate (*Punica granatum*) peel meal on performance, carcass attributes, immune and antioxidant responses in broiler chickens. *Animal Production Science*, 59(2): 288–294. 2019.

Relling, A.E., Mattioli, G.A. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. *Argentina: UNLP Editorial Edulp*, 23-55.

- Ren, S., Zhang, L., Tang, X., Zhao, Y., Cheng, Q., Speakman, J. R., Zhang, Y. (2024). Temporal and spatial variations in body mass and thermogenic capacity associated with alterations in the gut microbiota and host transcriptome in mammalian herbivores. *Science of the Total Environment*, 907, 167776.
- Reynoso-Utrera, E., Bautista Gómez, L.G., Martínez Castañeda, J.S., Romero Núñez, C., García Rubio, V.G., Aguado Almazán, G.L., Hernández-García, P.A. Espinosa Ayala, E. (2019). Analysis of rotavirus in rabbits in the State of México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(2), 511-521.
- Rivera, J., Losada, H., Cortés, J. Vargas, J. (2011). Caracterización de la producción de conejos de pequeña escala en la zona de los volcanes próxima a la Ciudad de México. *Livestock Research for Rural Development*. 23(140), Artículo #140. Consultado el 8 de abril de 2024 en: <http://www.lrrd.org/lrrd23/6/rive23140.htm>
- Rivera, J., Losada, H., Cortes, J., Vargas, J. (2011). Characterization of rabbit production in small scale in the area of the volcanoes near Mexico City. Characterization of rabbit production. *Livestock Research for rural Development*, 140.
- Rivero-Perez, N., Hernández-Alvarado, J.L., Valladares-Carranza, B., Delgadillo-Ruiz, L., Ojeda-Ramírez, D., Sosa-Gutiérrez, C. G., Morales-Ubaldo A.L. Vega-Sanchez V., Zaragoza-Bastida, A. (2019). *Salix babylonica* L. as a natural anticoccidial alternative in growing rabbits. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. Volume 2019 | Article ID 2107231 | <https://doi.org/10.1155/2019/2107231>
- Rodríguez-Romero, N., Abecia, L., Rodríguez, R., Balcells, J., Fondevila, M. (2009). Digestibilidad de dietas con distintas relaciones de fibra muy digestible/poco digestible en conejos de cebo: contribución de los tramos del tracto gastrointestinal. *Memoria del XIII Jornada sobre Producción Animal*, 274-276.
- Roque-Jiménez, J.A., Mendoza-Martínez, G.D., Vázquez-Valladolid, A., Guerrero-González, M.D.L.L., Flores-Ramírez, R., Pinos-Rodríguez, J.M., Lee-Rangel, H.A.

- (2020). Supplemental herbal choline increases 5-hmC DNA on whole blood from pregnant ewes and offspring. *Animals*, 10(8), 1277.
- Roques, S., Martinez-Fernandez, G., Ramayo-Caldas, Y., Popova, M., Denman, S., Meale, S. J., Morgavi, D. P. (2024). Recent Advances in Enteric Methane Mitigation and the Long Road to Sustainable Ruminant Production. *Annual Review of Animal Biosciences*, 12(1), 321-343.
- Rosas-Peralta, N. (2013). Demanda actual y potencial de la carne de conejo en el municipio de Texcoco, Estado de México. Tesis de Maestría. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco.
- Ruckebusch, Y., Phaneuf, L. P., Dunlop, R. (1991). Section III—the digestive system. *Physiology of small and large animals. Philadelphia: WB Saunders*, 191-298.
- Sahara, D. (2024). Livestock waste as alternative energy for rural households: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1292, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- Salami, S. A., Isah, O. A., Aderinboye, R. Y., Ajayi, L. O., Ashi, S. (2021). Impact of caecotrophy on the performance, nutrient digestibility and blood parameters of growing rabbits. *Nigerian Journal of Animal Production*, 48(2), 140-147.
- Selvam, R., Saravanakumar, M., Suresh, S., Chandrasekeran, C.V., Prashanth, D.S. (2018). Evaluation of polyherbal formulation and synthetic choline chloride on choline deficiency model in broilers: implications on zootechnical parameters, serum biochemistry and liver histopathology. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(11), 1795.
- Selvam, R., Saravanakumar, M., Suresh, S., Chandrasekeran, C.V., Prashanth, D. (2018). Evaluation of polyherbal formulation and synthetic choline chloride on choline deficiency model in broilers: Implications on zootechnical parameters, serum biochemistry and liver histopathology. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 31, 1795–1806.

- Sharma, A., Ranjan S. (2015). Effect of herbal and chemically synthetic choline on physio-biochemical characteristic of chicks. *Journal of Global Biosciences*, 4(6): 2537-2542.
- Shrestha, S., Bindari, Y., Shrestha, N., Gaire, T. (2013). Methane Gas Emission in Relation to 366 Livestock: a Review. *Journal of Animal Production Advances* 3, 187. 367. Doi: [10.5455/japa.20130531095352](https://doi.org/10.5455/japa.20130531095352)
- Sondakh, D.S.I., Tulungen, F.R., Kampilong, J.K., Rumondor, F.S.J., Kawuwung, Y.S., Sanggelorang, E.P. (2024). Estimation of livestock greenhouse gas for impact mitigation. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(2), 857-872.
- Sondakh, D.S.I., Tulungen, F.R., Kampilong, J.K., Rumondor, F.S.J., Kawuwung, Y.S., Sanggelorang, E.P. (2024). Estimation of livestock greenhouse gas for impact mitigation. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(2), 857-872.
- Song, H., Peng, C., Zhu, Q., Chen, Z., Blanchet, J. P., Liu, Q., Li, T., Li, P., Liu, Z. (2024). Quantification and uncertainty of global upland soil methane sinks: Processes, controls, model limitations, and improvements. *Earth-Science Reviews*, 104758.
- Soto, J.G.G. (2019). Situación de la producción cunícola en México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6, 82-87.
- Sun, X., Sitters, J., Ruytinx, J., Wassen, M. J., Olde-Venterink, H. (2024). Microbial community composition in the dung of five sympatric European herbivore species. *Ecology and Evolution*, 14(3), e11071.
- Talma, R., Antonia, M. (1996). Aplicación de técnicas enzimáticas de digestión " *in vitro*" a la valoración nutritiva de piensos de conejos. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Talukder J. (2019). Nutraceuticals in Gastrointestinal Conditions. In: Gupta R., Srivastava A., Lall R. Nutraceuticals in Veterinary Medicine. Springer, Cham. 2019.

- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3–4), 185–197.
- Triana, D.C.C., Contreras, N.E.R., Munar, D.A., Núñez, J.A.G., Cammaert, C., Rincón, S.A. (2021). Minimizar el consumo de combustibles fósiles, una de las actividades dentro de las mejores prácticas bajas en carbono. *Boletín El Palmicultor*, 592, 32-33.
- Uda, C.N., Philips, A.I., Clement, H.N., Orede, O.M., Aliegu, H.F. (2024). Impact on Greenhouse Effect of the Heat Flow of the Earth Surface. *World News of Natural Sciences*, 53, 32-48.
- van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74:3583–3597.
- Vántus, V.B., Kovács, M., Zsolnai, A. (2014). The rabbit caecal microbiota: development, composition and its role in the prevention of digestive diseases—a review on recent literature in the light of molecular genetic methods. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 18(1), 55-65.
- Vélez-Izquierdo, A., Espinosa-García, J. A., Aguilar-Romero, F. (2021). Tipología y caracterización de cunicultores en los Estados del centro de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12(2), 469-486.
- Vera, C.S., Díaz, L.B., Saurral, R.I. (2019). Influence of anthropogenically-forced global warming and natural climate variability in the rainfall changes observed over the South American Altiplano. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 87.
- Vera, J.C.K. (2019). Mitigación de las emisiones de metano entérico en rumiantes alimentados con plantas que contienen metabolitos secundarios. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6, 44-55.

- Wang, Y., Xu, H., Sun, G., Xue, M., Sun, S., Huang, T., Zhou, J., Loo, J.J, Li, M. (2019). Transcriptome analysis of the effects of fasting caecotrophy on hepatic lipid metabolism in New Zealand rabbits. *Animals*, 9(9), 648.
- Wang, Z., He, H., Chen, M., Ni, M., Yuan, D., Cai, H., Chen, Z., Ming, L., Xu, H. (2023). Impact of coprophagy prevention on the growth performance, serum biochemistry, and intestinal microbiome of rabbits. *BMC microbiology*, 23(1), 125.
- Yang, Q., Liang, Q., Balakrishnan, B., Belobrajdic, D. P., Feng, Q. J., Zhang, W. (2020). Role of dietary nutrients in the modulation of gut microbiota: a narrative review. *Nutrients*, 12(2), 381.
- Zeisel, S. H. (1981). Dietary choline: biochemistry, physiology, and pharmacology. *Annual review of nutrition*, 1(1), 95-121.
- Zhang, W., Yu, Y., Huang, Y., Li, T., Wang, P. (2011). Modeling methane emissions from irrigated rice cultivation in China from 1960 to 2050. *Global Change Biology*, 17(12), 3511-3523.