



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM AMECAMECA
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y EMISIÓN DE METANO DE CONEJOS
ALIMENTADOS CON PAJA DE AVENA Y COLINA VEGETAL**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

ANGEL MEDINA GRANADOS

DIRECTOR.

Dr. Pedro Abel Hernández García

CO-DIRECTOR

Dr. Pablo Benjamín Razo Ortíz

AMECAMECA, ESTADO DE MÉXICO A OCTUBRE DE 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM AMECAMECA
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y EMISIÓN DE METANO DE CONEJOS
ALIMENTADOS CON PAJA DE AVENA Y COLINA VEGETAL**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:
ANGEL MEDINA GRANADOS

DIRECTOR.
Dr. Pedro Abel Hernández García

CO-DIRECTOR
Dr. Pablo Benjamín Razo Ortíz

REVISORES
Dr. Enrique Espinosa Ayala

M en C. Lucina Cecilia Gutiérrez Castillo

AMECAMECA, ESTADO DE MÉXICO A OCTUBRE DE 2023.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 CALENTAMIENTO GLOBAL.....	2
2.1.1 Metano (CH ₄)	3
2.1.2. Producción de metano de herbívoros	4
2.2 CUNICULTURA EN EL MUNDO	5
2.3 CUNICULTURA EN MÉXICO.....	7
2.4. EI CONEJO (<i>Oryctolagus cuniculus</i>).....	9
2.4.1 Estómago.....	9
2.4.2. Ciego	10
2.4.3. Fermentación cecal.....	10
2.4.4. Cecotrofia	11
2.5. LA CARNE UN ALIMENTO FUNCIONAL	13
2.6. FORRAJES EN LA ALIMENTACIÓN DE CONEJOS	15
2.7. ADITIVOS ALIMENTARIOS UTILIZADOS EN CONEJOS.....	16
2.8. COLINA COMO ADITIVO ESTIMULANTE DE LA MICROBIOTA.....	16
2.9. TÉCNICAS PARA MEDIR Y ESTIMAR CH ₄ EN ANIMALES.....	17
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. HIPÓTESIS	20
5. OBJETIVOS	21
5.1 OBJETIVO GENERAL	21
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
6. MATERIALES Y MÉTODOS	22
6.1 FASE EXPERIMENTAL	22
6.2 PRUEBA PRODUCTIVA	23
6.3 TOMAS DE MUESTRAS.....	23
6.4 FERMENTACIONES <i>in vitro</i> Y ESTIMACIÓN DE CH ₄	24
6.5 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS RACIONES EXPERIMENTALES.....	25
6.6 ANÁLISIS DE DATOS.....	25
7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES REALIZADAS ;	¡Error! Marcador no definido.
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
8.1 RACIONES EXPERIMENTALES y ANÁLISIS QUÍMICO	¡Error! Marcador no definido.
8.2 COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO	27
8.3 PRODUCCIÓN DE GAS <i>in vitro</i> Y GASES DE EFECTO INVERNADERO	29

9. CONCLUSIÓN.....	32
10. REVISION DE LITERATURA	33

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición química, cantidad de bacterias y contenido de vitaminas B de heces de conejos	12
Cuadro 2. Dietas experimentales y composición química estimada de raciones para conejos con con paja de avena y colina herbal	26
Cuadro 3. Comportamiento productivo de conejos alimentados con paja de avena y colina vegetal	27
Cuadro 4. Producción de gas <i>in vitro</i> y metano de conejos alimentados con paja de avena y colina vegetal.....	29

Índice figuras

Figura 1. Cabezas de conejo (millones) en el mundo.....	6
Figura 2. Producción de carne de conejo (Ton) en el mundo.....	7
Figura 3. Contenido de proteína y grasa las carnes más consumidas a nivel mundial y la carne de conejo	14
Figura 4. Contenido de energía y agua de las carnes más consumidas a nivel mundial y la carne de conejo	15

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de la población ha provocado un incremento en la demanda de alimentos como cereales y proteína de origen animal, además de disminuir el espacio donde se producen estos alimentos, los cuales, están sustituidos por espacios habitacionales en las grandes urbes citadinas (DeFries *et al.*, 2010; Benke y Tomkins, 2017). Además, este incremento de la población mundial y de la demanda de alimentos ha generado que los sistemas de producción agropecuarios incidan de manera importante en el calentamiento global (Króliczewska *et al.*, 2023). Por lo que, la búsqueda de alimentos que se produzcan en un menor espacio, acortando tiempos de producción y que satisfagan las necesidades nutricionales en entornos ecológicos es de importancia (Adesogan *et al.*, 2020). Un ejemplo de sistema productivo ecológico es la cunicultura, opción viable para satisfacer la demanda de proteínas de origen animal, ya que su producción es catalogada como ecológica, su carne como un alimento funcional y rentables por su prolificidad, rápido crecimiento y poco espacio requerido (Adedeji *et al.*, 2015). En este sentido, la búsqueda de alternativas nutricionales que puedan minimizar los costos de producción e incrementar la utilización de subproductos agroindustriales sin afectar la productividad podría ayudar a disminuir la utilización de insumos alimenticios para el ganado.

En conejos la utilización de esquilmos agrícolas podría mantener la motilidad intestinal y disminuir la incidencia de enfermedades intestinales, pero disminuiría el aporte de energía afectando el comportamiento productivo (Cheeke *et al.*, 1986). Además del análisis productivo, es importante considerar las emisiones de metano (CH₄) que se puedan generar con fibras de menor calidad y digestibilidad, estimando que la producción de conejos va a incrementar por las cualidades productivas antes mencionadas (Dalle-Zotte *et al.*, 2002). La utilización de un aditivo con características estimulantes del microbioma intestinal podría efficientizar los aportes de la ración manteniendo las ganancias de peso, tal es el caso de la colina proveniente de fuentes vegetales que se ha reportado funciona como promotor de crecimiento (Kathirvelan *et al.*, 2013) es más barato que la colina sintética y con mejor biodisponibilidad (Khose *et al.*, 2018).

2. ANTECEDENTES

Los retos actuales en medio ambiente son provocados principalmente por el incremento de la temperatura, la cual, está claro que esta indiciada por el aumento de las emisiones de gases contaminantes, la explotación de los recursos naturales y la industrialización de todas las materias primas naturales que requiere el ser humano para mantener su calidad de vida (Trenberth, 2010). Sin embargo, el incremento en la tasa de emisión de estos gases está provocando cambios devastadores para los ecosistemas, las especies animales y los recursos naturales que pueden representar un riesgo para las futuras generaciones (Króliczewska *et al.*, 2023).

2.1 CALENTAMIENTO GLOBAL

La atmosfera es una capa que protege el planeta tierra y que está formada por gases (79 % Nitrógeno, 2 0% oxígeno, 0.9 % argón, 0.03 % dióxido de carbono y otros gases) que son importantes para el sustento de la vida en tierra (Caballero *et al.*, 2007). La búsqueda de mejoras en el proceso productivo y el desarrollo en las condiciones de vida humana han propiciado la industrialización y la combustión de combustibles que incrementan la emisión de gases contaminantes de efecto invernadero metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) que saturan la atmosfera terrestre evitando el enfriamiento natural del planeta (Zandalinas *et al.*, 2021). Esta acumulación de gases de efecto invernadero, provoca el aumentó interno de la temperatura del planeta, ocasionando cambios drásticos en los ecosistemas como sequias severas, calor intenso, el derretimiento de los glaciares entre otros (Sala *et al.*, 2000). La principal causa de este incremento de la temperatura es la acumulación de gases con potencial de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄) (Nikolova y Loshkovska, 2023). Derivado de los registros de temperatura y la medición constante de la temperatura en las diferentes regiones del planeta se ha registrado un incremento de 0.5° C en un rango de tiempo de 1960 a 1990 (Caballero *et al.*, 2007). Este incremento climático es ocasionado principalmente por los gases de efecto invernadero, los cuales, al acumularse

en la atmosfera, impiden que salga la energía calórica que es rebotada desde la superficie terrestre u oceánica al espacio provocando que la tierra absorba más calor (Kweku *et al.*, 2018). El descontrol y rápido incremento de la temperatura está cambiando las condiciones de los ecosistemas evitando que las diferentes especies de vida se adapten a los cambios por lo agresivo y rápido que está siendo (Ni *et al.*, 2013; Stępniewska y Kuźniar, 2013), la disminución de lluvias en lugares donde abundaban, el incremento de precipitaciones en donde eran nulas, la disminución de los glaciares y los cambios de las corrientes de vientos son evidencia también del cambio climático (Yoro y Daramola, 2020). Es por estos cambios que es importante buscar reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las cuales, se estima que, de no existir políticas y estrategias de disminución inmediatas, podrían ser el doble del porcentaje presente a inicio de siglo (Kweku *et al.*, 2018).

2.1.1 Metano (CH₄)

El metano es un gas presente en la atmosfera del planeta que se produce derivado de procesos biológicos y que por su rápida acumulación y su efecto invernadero está provocando cambios en la temperatura global por el incremento de la temperatura que representa (Rasmussen y Khalil, 1984). Su generación se da a través de reacciones anaeróbicas generadas por microorganismos a sustratos orgánicos (Segers, 1998). Estos microorganismos son llamados metanogénicos porque en una relación simbiótica junto a otras bacterias generan metano como parte de su metabolismo energético (Thompson *et al.*, 2022).

Las fuentes principales de emisión de metano son la producción de arroz, la minería y la extracción de gas natural (Anand *et al.*, 2005; Sanchis *et al.*, 2012), las cuales, están por debajo de emisión porcentual que representa la ganadería intensiva (Crutzen *et al.*, 1886) y la descomposición de materia orgánica de residuos alimenticios de ciudades, de pantanos y otros humedales naturales (Wang *et al.*, 2016; Mozhiarasi *et al.*, 2020). Dentro de las emisiones de la ganadería, el ganado vacuno lechero representa

el 72 % de la liberación de metano, seguido de los borregos con un 9 % de emisión de esta categoría (Opio *et al.*, 2013; Haque *et al.*, 2018). Aunque el metano tiene un potencial de calentamiento global 28 veces mas potente que el CO₂, es el gas que tiene un menor tiempo de vida atmosférico por lo que la disminución de su liberación podría representar beneficios casi inmediatos (Ehhalt, 1967; Muller y Muller, 2017; Króliczewska *et al.*, 2023).

2.1.2. Producción de metano de herbívoros

La fermentación anaeróbica de materia orgánica libera metano (CH₄), por lo que, la digestión ruminal e intestinal de mamíferos herbívoros y omnívoros lo genera, siendo dependiente de las características de su sistema digestivo, la calidad y la cantidad de alimento que consumen (Crutzen *et al.*, 1886). A pesar de la variabilidad de las emisiones de CH₄ de origen animal, la producción de alimentos de origen animal es catalogada como una de las principales fuentes de emisión de CH₄ globales, solo por debajo de la producción de arroz y estando por encima de la minería y la extracción de gas (Anand *et al.*, 2005; Sanchis *et al.*, 2012).

Los primeros reportes que mostraban preocupación de las emisiones de CH₄ provenientes de la ganadería fueron en 1949, donde también se estimaba el porcentaje de metano emitido por los rumiantes (Hutchinson, 1949). Desde entonces, se le ha brindado una importancia mayor a la generación entérica de metano proveniente de los rumiantes y se ha desestimado la generación de metano de otros animales de granja. Existen reportes que estiman que los cerdos producen diariamente el equivalente al 0.6 a 2.0 % de la energía bruta que consumen (Schneider y Menke, 1982), mientras que los caballos y otras especies de la familia *Equidae* generan del 2 a 3 % de la ingesta de energía bruta (Kirchgessner, 1985). En cuanto a la fauna silvestre, existen estimaciones que dependen del censo de las especies presentes en los ecosistemas, sin embargo, son pocos los reportes que buscan estimaciones o alternativas que calculen la emisión de los herbívoros silvestres estimándose que, en promedio, solo generan el 20 % de las emisiones provenientes de los animales siendo el otro 80 % provenientes de la ganadería de rumiantes (Crutzen *et al.*, 1886).

Sin embargo, algunos herbívoros pequeños como los conejos pueden ser atractivos para subsanar el déficit mundial de producción de proteína de origen animal por lo que, a futuro se estima que podría incrementar la población de estos animales y la generación de contaminantes. Por esto, es importante incrementar la información sobre la generación de metano de conejos y otras especies con potencial productivo, que hasta ahora se han desestimado por el foco de atención que genera la ganadería.

2.2 CUNICULTURA EN EL MUNDO

La cunicultura es el proceso por el cual se reproduce, cría y engorda conejo para obtener un beneficio económico a través de la comercialización de su carne, ejemplares o pieles. Datos históricos sugieren que el consumo y comercio de carne de conejo va en torno a 1100 antes de cristo (Dalle-Zotte, 2014). Los países pioneros de la cunicultura son E.U.A y países europeos como España, Francia e Italia y donde la cunicultura se tecnifico y donde se tomó como una actividad ganadera (McNitt *et al.*, 2013). A pesar de esto, el continente asiático es el que mayor número de cabezas contabiliza a nivel mundial duplicando el número de cabezas existentes en Europa (Siddiquim, 2023).

Según la FAO, en 2019 la población de conejos a nivel mundial fue de 311,322,000 lo que represento un incremento en la población mundial de conejos del 62 % en 10 años y que se estima seguirá en crecimiento (FAO, 2019). Continentalmente, Asia es el principal productor de carne de conejo (Figura 1), seguido de Europa, África y América (Siddiquim, 2023).

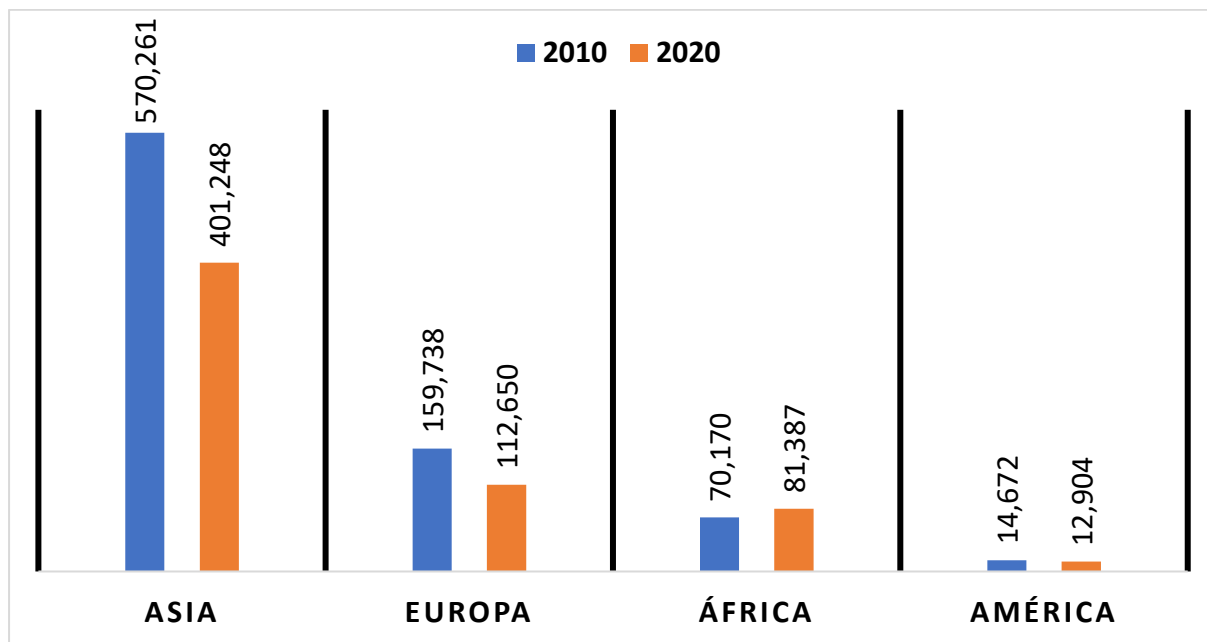


Figura 1. Cabezas de conejo (millones) en el mundo.

Adaptado de Siddiquim (2023).

China es el principal productor de carne de conejo aportando casi el 40 % de la carne de conejo global, seguido de Venezuela con el 15.6 % e Italia con el 15.2 % mientras que México solo aporta el 0.3 % con lo que se ubica como el productor de carne de conejo con el número 18 a nivel global (FAO, 2010). Los datos de producción e importaciones sugieren que la carne de conejo se utiliza para autoconsumo y no como un producto para exportar (Rosas-Peralta, 2013). El consumo promedio mundial de carne de conejo ronda los 250 g siendo Europa el continente que más carne de conejo consume con un promedio de 2144 g por habitante anuales, seguido de Sudamérica con 706 g y Asia con 505 g (FAO, 2019). En este sentido, el consumo de carne de conejo a nivel global está ganando terreno contra carnes de otras especies y ocupando el quinto lugar del consumo global (Pérez-Hernández, 2021).

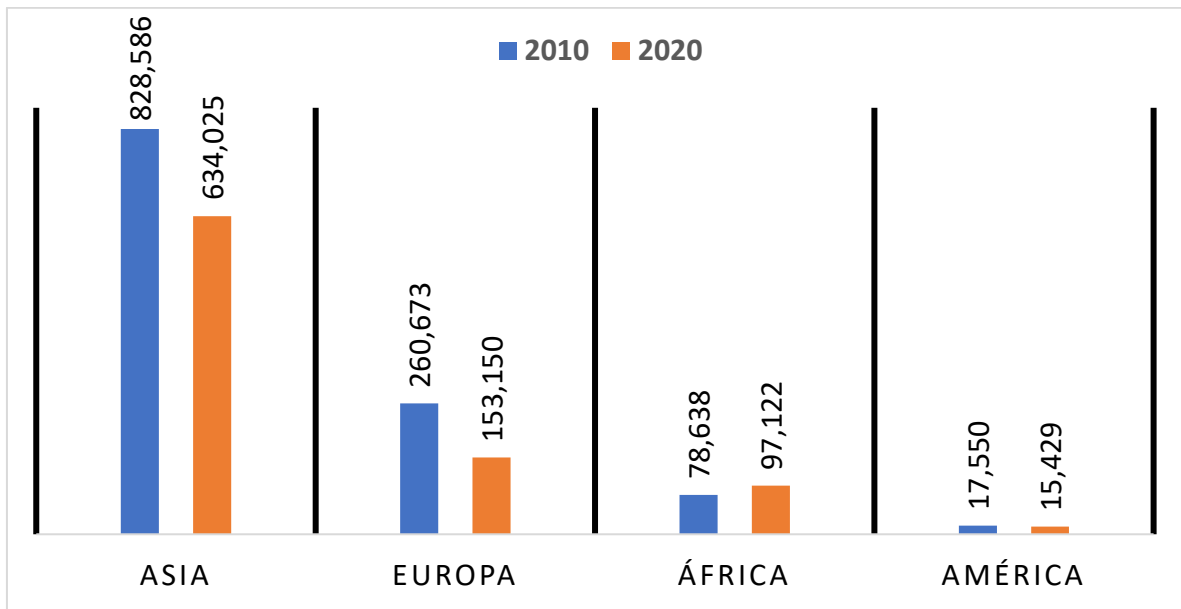


Figura 2. Producción de carne de conejo (Ton) en el mundo.

Adaptado de Siddiquim (2023).

2.3 CUNICULTURA EN MÉXICO

En México, la producción de conejos ha incrementado, pero no al ritmo de otras especies pecuarias como la producción de pollo, cerdos, bovinos y ovinos (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2015). Rosas-Peralta *et al.* (2013) reportó que en México la carne más consumida es la de pollo, seguida por la carne de res y cerdo agrupando el 98 % del consumo, dejando muy poco espacio para el consumo de carne de otras especies. El bajo consumo *per cápita* podría ser una de las principales problemáticas para el desarrollo de la cunicultura siendo la falta de promoción y de información sobre sus propiedades lo que no ha impulsado el consumo en la población según (Pérez-Hernández, 2021) el consumo *per cápita* de carne de conejo es de 128 g, sin embargo, al ser una carne con ventajas productivas por la prolificidad de los conejos, la rapidez con la que llegan a la madurez reproductiva, el corto periodo de engorda y el poco requerimiento de espacio para su producción ha generado que gobiernos federales y

estatales establezcan apoyos que fomenten la producción y el consumo de carne de conejo (Velez-Izquierdo *et al.*, 2021). Estos apoyos van desde el otorgamiento de paquetes familiares de conejos para su reproducción hasta el desarrollo del Centro Nacional de Cunicultura, el cual, se fundó con la encomienda de capacitar productores, desarrollo de tecnologías y el desarrollo de razas específicas para la cunicultura en México (Flores-Aguileta, 2016). Aun con todos estos esfuerzos, la cunicultura en México esta relegada en el 95 % a productores de traspatio y solo el 5 % en granjas tecnificadas a gran escala (Calzada-Rovirosa *et al.*, 2015).

Según reportes del Comité Nacional Sistema Producto Cunicola (2016), durante 2014, México contaban a nivel nacional con 64 mil hembras reproductoras y una producción anual de 54 mil toneladas de carne, siendo los principales estados productores de carne de conejo en México estados del centro del país como Puebla, Morelos, Tlaxcala, Michoacán, Querétaro, siendo el Estado de México el que más carne de conejo produce y consume y donde la zona oriente es una importante área cunicultora (Reynoso-Utrera *et al.*, 2023). En esta zona, la producción de conejo es llevada a cabo en granjas de traspatio, donde suele involucrarse toda la familia y que está al margen de una actividad pecuaria principal como seria la engorda de toros o corderos o la venta de leche (Pérez-Hernández, 2021). La venta principal de carne de conejo es cocinada en restaurantes turísticos donde es consumido como un platillo principal asado en ajo o enchilado y donde también se ofertan otros subproductos provenientes de la cunicultura (Rivera *et al.*, 2011).

Las razas utilizadas para la producción de carne de conejo en México son Nueva Zelanda, California, Chinchilla, y Azteca negro siendo la hibridación entre estas razas la que produce mayor cantidad de conejos para carne (Rosas-Peralta, 2013).

2.4. EL CONEJO (*Oryctolagus cuniculus*)

Mamífero de la familia *Leporidae* y que se encuentra dentro del orden *Lagomorpha* (Arrington y Kelley, 1976). La principal diferencia entre estos y los roedores es que los lagomorfos tienen dos pares de dientes incisivos y no solo un par (Brewer, 2006). Con esos dientes, el conejo prensa los alimentos y por ser un animal herbívoro, selecciona principalmente los alimentos fibrosos (Davies y Davies, 2003). Selectivamente, eligen los brotes de fibra más tiernos y algunos granos para obtener una elevada energía de mantenimiento que requiere por su elevada tasa metabólica (Hirschfeld *et al.*, 1973; Davies y Davies, 2003). Para incrementar la digestión de la fibra y maximizar el aporte energético de los vegetales, los conejos evolutivamente han desarrollado un mecanismo fermentativo similar al de otros herbívoros como el caballo o los rumiantes, que le permiten consumir gran cantidad de alimento y eliminar eficientemente la fibra indigestible (De Ome y Leffel, 1972; Gidenne *et al.*, 2012). La fermentación cecal y su cecotrofia han eficientizado el consumo y aprovechamiento de los nutrientes de los conejos y otros mamíferos pequeños (Langer, 2002). Reproductivamente, los conejos son animales prolíficos ya que pueden reproducirse hasta cuatro veces al año y manteniendo un promedio de ocho crías por nacimiento logrando crías hasta 100 conejos durante su vida reproductiva (Castellini *et al.*, 2010).

En cuanto a sus beneficios productivos, su sistema digestivo se ha adaptado a consumir estrictamente grandes cantidades de fibra, haciéndolos muy eficientes como productores de carne al no requerir de inclusiones elevadas de cereales en su alimentación (Blas y Wiseman, 2020). el cual se abordará continuación mencionando los principales órganos del sistema digestivo:

2.4.1 Estómago

El estómago de los conejos es de tipo glandular, localizado en el flanco centro izquierdo del abdomen y con la discapacidad de vomitar o regurgitar el bolo alimenticio (Irlbeck, 2001). El porcentaje de volumen del estómago es del 15 % el total del tracto

gastrointestinal (Brewer, 2006). En el fundus, como en la mayoría de especies tiene células secretoras de ácido clorhídrico y pepsinógeno, con las enzimas digestivas, en el estómago se degradan las proteínas, carbohidratos no estructurales y grasas (Carabaño y Piquer, 1998), mientras que, la degradación de celulosa es nula al no secretarse celulasas en el estómago (Marounek *et al.*, 1995). Las fracciones de alimento degradadas pasan al intestino delgado donde son absorbidos los nutrientes (Davies *et al.*, 2003). El contenido de fibra del bolo alimenticio que no se degrada en estomago pasa al intestino grueso y funciona como sustrato para los microorganismos cecales que si degradan fibra a través de un proceso fermentativo y liberan subproductos que el conejo puede utilizar como nutrientes (Anaya-Lira *et al.*, 2016).

2.4.2. Ciego

El ciego del conejo es una cámara fermentativa donde la acción en la simbiosis de miles de especies de microorganismo y sus enzimas degradan hasta el 50% de la ingesta orgánica del alimento (Varga, 2013). Es tan importante para la fisiología digestiva del conejo que su tamaño abarca hasta el 40% del volumen del tracto y al estar encargado de fermentar la fibra de la ración, su pH ronda 6.0 - 6.8 (Jenkins, 2000; Davies *et al.*, 2003).

2.4.3. Fermentación cecal

La fermentación se da en el ciego, el cual es más grande que el estómago del conejo siendo el 40% del tracto digestivo y pudiendo almacenar 10 veces el contenido del estómago (Brewer, 2006). Se da por acción de los microorganismos bajo condiciones de anaerobiosis, pH, temperatura. El proceso fermentativo favorece la acción de las enzimas microbiológicas para la degradación de amoniaco y urea, de proteínas y finalmente los carbohidratos estructurales (Varga, 2013). El sustrato principal de esta fermentación, es la fibra contenida en la ración donde los microorganismos se adhieren y

fermentan para producir ácidos grasos volátiles, nitrógeno amoniacal, proteínas microbianas y algunos gases de deshecho como el CO₂ (Pond *et al.*, 1995). Estos productos resultados de la fermentación pueden absorberse en las paredes del ciego y pasar al sistema portal como nutrientes y además los microorganismos cecales son una gran fuente de aporte de vitaminas del complejo B y de proteína microbiana que optimiza el aporte de nutrientes de la ración (Anaya-Lira *et al.*, 2016; Litterio y Aguilar, 2017). El incremento en la fermentación del ciego puede mejorar el aporte de energía del conejo a través de una elevación del total de los ácidos grasos volátiles (Mourão *et al.*, 2006). García *et al.* (2002) reporta que la proporción de ácidos grasos volátiles varía de acuerdo con la ración, pero en general promedia 80 % ácido acético, 20% ácido propiónico y 10 % ácido butírico. Las estimaciones reportan que derivado de la fermentación cecal, los conejos pueden obtener el 0.40 Mcal de sus requerimientos de energía de mantenimiento (EM) a través de los ácidos grasos volátiles (Marty y Vernay, 1984).

2.4.4. Cecotrofia

Es un proceso fisiológico digestivo adaptativo que le permite a los conejos optimizar el proceso de absorción de nutrientes a través del consumo de heces (cecotrofos) que son una comunidad simbiótica de microorganismos ricos en nitrógeno, vitaminas, minerales y algunos residuos alimenticios envueltos en una mucosa que son liberados una vez al día y que el conejo consume a través de un proceso de coprofagia (García *et al.*, 2000; Brewer, 2006). Este proceso permite una segunda digestión que partículas de alimento pequeñas sean redigeridas y fermentadas para incrementar la digestibilidad (Sakaguchi, 2015). Además, los cecotrofos contienen en cantidad cinco veces más bacterias que las heces duras, lo que aporta gran cantidad de proteína microbiana al conejo (Cuadro 1; Zeng *et al.*, 2015) y junto a la reutilización del nitrógeno y urea presentes en el tracto intestinal ayudan a incrementar el consumo de proteína que no proviene de la dieta y que contribuye al crecimiento y la ganancia de masa muscular (Forsythe y Parker, 1985). Por lo cual, estimaciones le atribuyen a la cecotrofia el aporte de hasta el 25% del requerimiento diario de proteína de los conejos (Li *et al.*, 2020).

Otro de los beneficios de la cecotrofia es el incremento del aporte de vitaminas del complejo B al contener riboflavina, niacina, cianocobalamina y acido pantoténico (Kulwich *et al.*, 1953). Los cecotrofos son heces blandas que evacuan los conejos durante la noche y que consumen directamente del recto (Zeng *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Composición química, cantidad de bacterias y contenido de vitaminas B de heces de conejos.

	Heces blandas	Heces duras
Materia seca (g kg ⁻¹)	340	470
Proteína cruda (g kg ⁻¹ MS)	300	170
Fibra cruda (g kg ⁻¹ MS)	180	300
Bacteria (10 ¹⁰ g ⁻¹ DM)	142	21
Acido nicotínico (mg kg ⁻¹)	139	40
Roboflavina (mg kg ⁻¹)	30	9
Ácido pantoténico (mg kg ⁻¹)	52	8
Cianocobalamina (mg kg ⁻¹)	3	1

Adaptado de Blas y Wiseman (2020).

2.5. LA CARNE UN ALIMENTO FUNCIONAL

Los alimentos que aportan nutrientes y además un beneficio en la salud o disminuyen el desarrollo de enfermedades degenerativas han sido catalogados como alimentos funcionales (Cossu y Capra, 2014). Nutricionalmente, la carne de conejo tiene un balance adecuado entre ácidos grasos benéficos (60 % del total son oleico y linoleico) poco colesterol, un elevado aporte de proteína (21 %), niveles bajos de sodio y un aporte energético promedio de 1510 Kcal por kg de carne (Para, 2015; Dalle Zotte, 2002) y algunos autores mencionan que tiene baja alergenicidad (Cossu y Capra, 2014) lo que, la posicionan como una carne con propiedades funcionales y más sana que otras carnes con mayor preferencia (Figuras 3 y 4).

También presenta un alto aporte de aminoácidos esenciales como leucina 1.7 %, valina 1.2%, lisina 2.1% y 1.1% de aminoácidos que aportan azufre y con un bajo contenido de purinas y nulo de ácido úrico (Combes y Dalle Zotte, 2005; Hernández, 2007; Hernández y Dalle Zotte, 2010). En cuanto a ácidos grasos, la carne de conejo presenta ácido eicosapentaenoico EPA, 20:5 n-3 y docosahexaenoico DHA, 22:6 n-3 que por ser de cadena impar tienen beneficios en el consumidor (Wood *et al.*, 2008). Diversas investigaciones han evaluado los ácidos grasos dietarios y han reportado que tienen el potencial de inhibir el crecimiento de células cancerosas (Carroll *et al.*, 1986; Islam *et al.*, 2019). La FAO/WHO (2008) ha recomendado el consumo de carnes con alto contenido de ácido grasos polinsaturados por su actividad anticancerígena, inhibidora del desarrollo de diabetes y de enfermedades cardiovasculares además de que son de importancia para el funcionamiento del cerebro o del sistema inmunológico (Attia *et al.*, 2007).

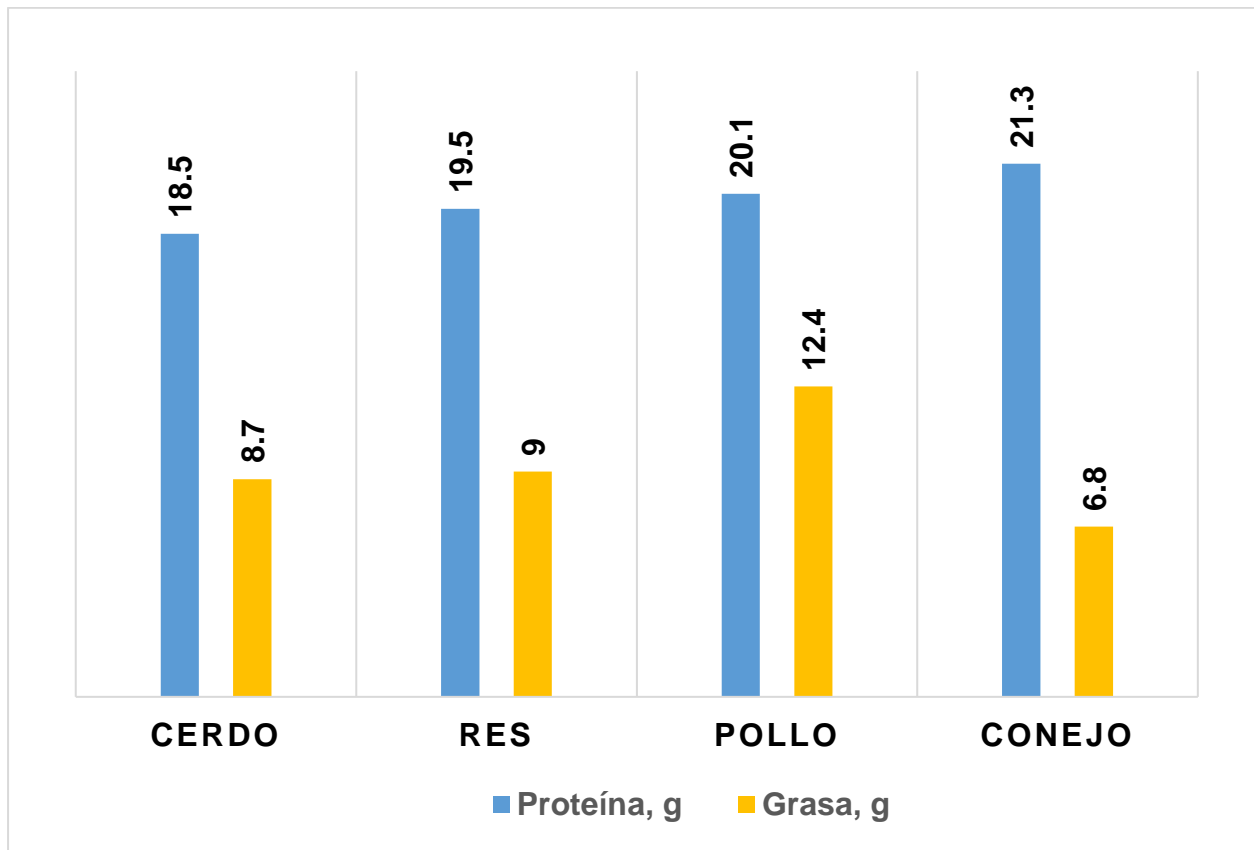


Figura 3. Contenido de proteína y grasa las carnes más consumidas a nivel mundial y la carne de conejo

Adaptado de Dalle-Zotte (2002).

Actualmente, la creciente demanda de la población por productos inocuos y con beneficios secundarios en la salud ha generado una necesidad de incrementar la producción de alimentos funcionales (Plasek y Temesi, 2019) entre los que destaca la carne de conejo por tener estas características de manera natural (Siddiqui *et al.*, 2023). Para la generación de esta carne el conejo, que es un herbívoro el cual su dieta se puede basar en fibras.

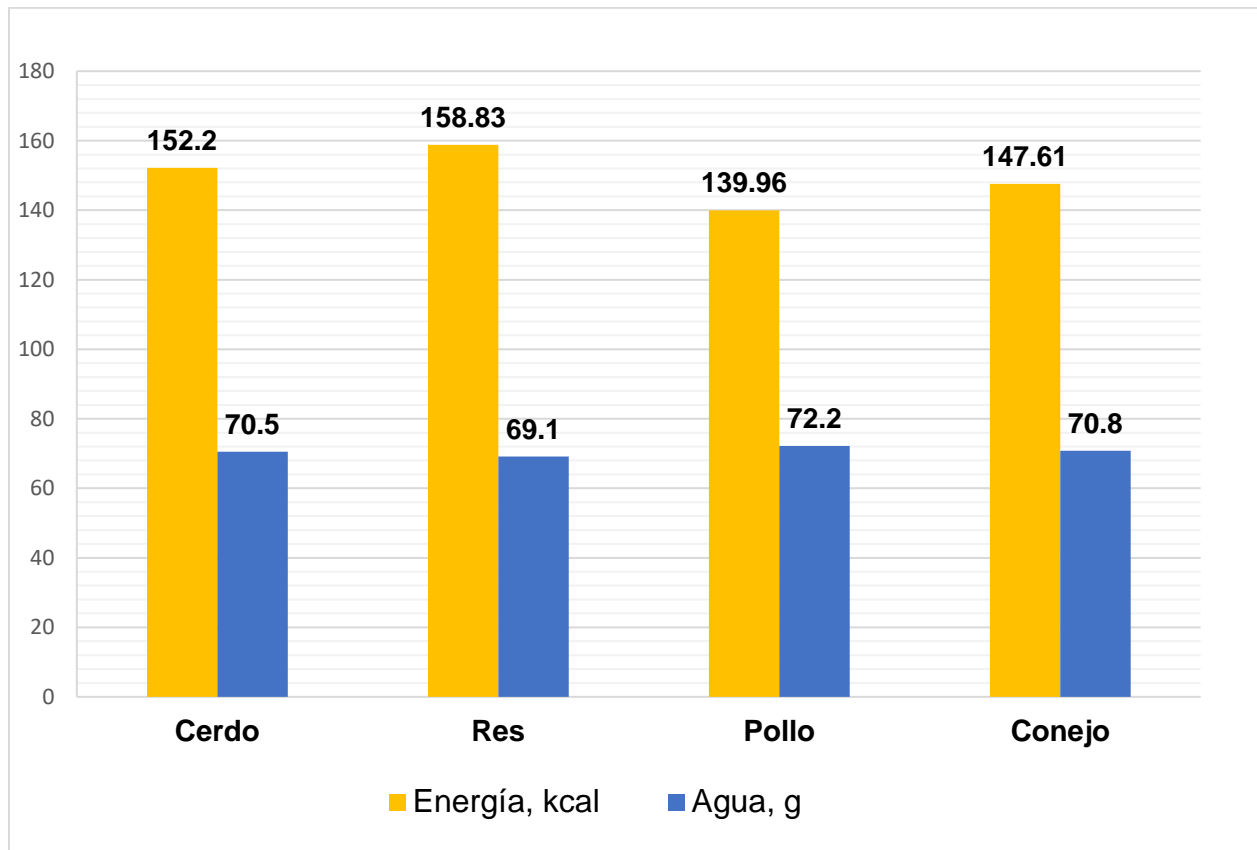


Figura 4. Contenido de energía y agua de las carnes más consumidas a nivel mundial y la carne de conejo

Adaptado de Dalle-Zotte (2002).

2.6. FORRAJES EN LA ALIMENTACIÓN DE CONEJOS

El conejo depende de la fibra que aporta la ración, incluso en etapa de finalización ya que raciones con limitado aporte de fibra disminuyen la tasa de crecimiento (Gidenne, 2003). Las fracciones fermentables de la fibra como la hemicelulosa, celulosa y frútanos son fermentables por los microorganismos cecales y representan la liberación de ácidos grasos volátiles de los cuales los conejos obtienen energía (Mourão *et al.*, 2006). Por otra parte, la fibra cruda representa la fracción indigestible y la que mantiene en un correcto funcionamiento la fisiología digestiva del conejo y su salud entérica (Eriksson, 1952). Todos los forrajes tienen en diferente porcentaje sustancias pecticas, celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, porcentaje que depende de su etapa fenológica (Arzani *et al.*, 2004).

2.7. ADITIVOS ALIMENTARIOS UTILIZADOS EN CONEJOS

Además del crecimiento de la agricultura, el manejo reproductivo, la intensificación del espacio donde se engordan animales y los avances clínicos, la nutrición y la utilización de aditivos nutricionales han incrementado la producción de los productos pecuarios (Summons, 1968). Los aditivos son productos químicos o naturales que pueden administrarse a los conejos mediante la alimentación y que representan beneficios en el comportamiento productivo, salud o bienestar (García y García, 2015). Los primeros utilizados fueron aditivos químicos (Ferrando, 1975) y por las tendencias actuales se está buscando estabilizar compuestos naturales que puedan sustituir a los químicos utilizados con buenos resultados (Mahfuz *et al.*, 2022). Debido a sus diversas características, mecanismos de acción y tipos es difícil clasificar a los aditivos, pero en conejos se han probado ácidos orgánicos (Papatsiros *et al.*, 2012); aceites esenciales (Cardinali *et al.*, 2008); minerales orgánicos (El-Moghazy *et al.*, 2019; Kamel *et al.*, 2020); y aditivos formulados con plantas (Ibrahim *et al.*, 2014; Cullere *et al.*, 2016); antibióticos (Fonseca *et al.*, 2004; Attia *et al.*, 2014); coccidiostatos (Fik *et al.*, 2015) y probióticos (Matusevičius *et al.*, 2006; Kritas *et al.*, 2008).

2.8. COLINA COMO ADITIVO ESTIMULANTE DE LA MICROBIOTA

La colina es una vitamina presente en las membranas celulares de microorganismos, plantas y animales, que se encuentra presente mediante sus conjugados como betaína, lecitina, acetilcolina, fofatidilcolina y otros fosfolípidos (Moreno-Gudiño, 2014). Es utilizada en la producción de animales de granja, principalmente en la engorda de pollos y huevo de plato, favorece la transmisión de impulsos nerviosos y mejora el metabolismo hepático de los ácidos grasos previniendo lipidosis hepática (Kakasaheb *et al.*, 2019). En conejos, la suplementación de colina se ha desestimado por el aporte que representan los microorganismos presentes en los cecotrofos; sin embargo, Hove y Copeland, (1954) han reportado que la colina dietaría

es importante para el desarrollo y crecimiento de los conejos. 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), además se ha reportado distrofia muscular y pérdida del tejido cuando la colina no satisface los requerimientos del conejo (Hove y Copeland, 1954).

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.*, 2021) 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 y 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).

2.9. TÉCNICAS PARA MEDIR Y ESTIMAR CH₄ EN ANIMALES.

La medición de los gases de efecto invernadero que producen las unidades agrícolas es de importancia para determinar su efecto contaminante y hacer estimaciones futuras de como la producción animal puede influir en el cambio climático (Eggleston, 2006). Estas técnicas se han desarrollado a través de los años y pueden ser expresadas mediante ecuaciones que utilizan digestibilidad, consumo de fibra y otras consideraciones biológicas (Storm *et al.*, 2012), tal es el caso de la técnicas *in vitro* donde se utilizan fermentaciones con inóculos provenientes de animales (Ramin y Huhtanen, 2012) y técnicas *in vivo* que son exactas pero que tienen costos de implementación y análisis elevados como las cámaras respiratorias (Della-Rosa *et al.*, 2021), la utilización de hexafluoruro de azufre (Montenegro-Ballesteros y Barrantes-Guevara, 2016) y sistemas de monitoreo de emisiones para ganado lechero (Hammond *et al.*, 2016). Por lo cual, las técnicas *in vitro* son útiles, económicas y se pueden analizar simultáneamente un número

elevado de muestras con diferentes sustratos, alimentos, aditivos o inóculos (Martínez *et al.*, 2010; Castro-Montoya *et al.*, 2012). Estas pruebas *in vitro* para la medición de metano se adaptaron de técnicas para estimar digestibilidad y energía de los alimentos en pequeñas fermentaciones (Soliva y Hess, 2007) donde se puede recuperar el gas procedente de la fermentación y analizar las diferentes fases fermentativas a través de cromatografía de gases o trampas para CO₂ (Tangerman *et al.*, 1996; Machmüller *et al.*, 1998). Las trampas, están compuestas por una solución de hidróxido de sodio, donde el CO₂ es atrapado y fijado como carbonato de calcio y atribuyéndose el gas residual al volumen de metano (Osorio-Teran, 2017). Otra alternativa a la cromatografía de gases especializada para medir metano es la utilización de ecuaciones estequiométricas donde se utilizan los valores de acetato, propionato y butirato presentes en la muestra (van Soest, 1994).

3. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de producir alimentos de calidad a un ritmo que satisfaga las demandas alimenticias globales es un reto pecuario que requiere la búsqueda de estrategias y alternativas que mejoren los procesos productivos. La producción de carne de conejo tiene ventajas comparada otras carnes consumidas a nivel mundial por su prolificidad, rápido crecimiento, poco espacio requerido, carne funcional y a la que se atribuye menos emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la información existente en cuanto a la generación de metano en unidades de producción canícula es escasa y se ha desestimado por no representar una de las carnes más consumidas a nivel global lo que, podría a cambiar a futuro por las ventajas productivas de la cunicultura. Por lo cual, la evaluación de forrajes de menor calidad en la engorda de conejos es importante para determinar si podría sustituir a forrajes de mayor calidad y costo, manteniendo el comportamiento productivo y las emisiones de CH₄. La fibra cruda es determinante para mantener la salud y productividad de los conejos por lo que, forrajes toscos podrían tener efectos negativos en los microorganismos encargados de la fermentación cecal, sin embargo, la utilización de un estimulante de las bacterias cecales como la colina vegetal podría mejorar la degradabilidad de la fibra manteniendo el comportamiento productivo.

4. HIPÓTESIS

La adición de colina vegetal en una ración para conejos en finalización formulada con paja de avena es viable productivamente y puede disminuir las emisiones de CH₄.

5. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento productivo y la producción de metano de conejos alimentados con paja de avena y colina vegetal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el comportamiento productivo de conejos alimentados con una ración formulada con paja de avena como fuente de fibra principal y la adición de colina herbal.
- Determinar los patrones de fermentación *in vitro* de administrar una ración formulada con paja de avena para conejos en finalización.
- Establecer la producción de CH₄ de conejos en finalización.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se condujo en el Centro Universitario UAEM Amecameca, de la Universidad Autónoma del Estado de México, dentro de las instalaciones de la Posta Zootécnica y el Laboratorio Multidisciplinario de Investigación. Todos los procedimientos fueron realizados conforme a los estatutos del Comité Académico del Departamento de Ciencia Animal y de la Ley de Protección Animal del Estado de México.

FASE EXPERIMENTAL

La fase experimental de esta investigación tuvo una duración de 30 días donde se utilizaron 24 conejos de razas cárnicas con presencia en el oriente del Estado de México de 1.06 ± 0.05 kg de peso vivo inicial y 41 días de edad. Los conejos fueron alojados individualmente en jaulas elevadas comerciales para conejos de engorda con las medidas 70 x 90 x 50 cm, equipadas con un comedero tipo tolva de 3 kg de capacidad y bebederos automáticos tipo espiga donde se distribuyeron ($n = 12$) siguiendo un diseño experimental completamente al azar en dos tratamientos: 1) una ración formulada con paja de avena tradicionalmente para conejos en finalización (control) y 2) la ración control con la adición de 600 mg^{-1} de colina herbal. Cada ración se formuló siguiendo las recomendaciones del NRC (1977) para conejos en crecimiento y buscando utilizar ingredientes comunes en la zona. Una vez mezclada cada ración fue peletizada en su totalidad para administrarse a los conejos de manera granulada.

PRUEBA PRODUCTIVA

Los conejos fueron adaptados a las raciones experimentales durante 7 días y posteriormente pesados en ayunas al inicio del experimento, semanalmente y el último día de experimentación para evaluar el cambio de peso. Diariamente se pesó el alimento ofrecido y tras 24 h se pesó el rechazo para obtener el consumo diario de alimento. El peso final se dividió entre los días de experimentación para calcular la ganancia diaria de peso (GDP). Utilizando los datos de consumo de alimento y ganancia diaria de peso se obtuvo el valor de conversión alimenticia. Se determinó la digestibilidad de las raciones utilizando la técnica de cenizas insolubles en ácido de Van Keulen y Young (1977).

TOMAS DE MUESTRAS

A partir del día 25 de experimentación (día 26, 27 y 28) se tomaron muestras de heces fecales tomadas directamente del recto de cada animal para evitar su contaminación y fueron secadas en una estufa a 55° C durante 3 días.

Para las incubaciones *in vitro*, el último día de experimentación (día 30), seis conejos de cada tratamiento fueron sacrificados de acuerdo a la Legislación Mexicana NOM-033-SAGZOO-2014; métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres con la finalidad de obtener el ciego para realizar incubaciones *in vitro*. El líquido cecal fue filtrado utilizando gasas estériles y puesto en un baño maría a 39° C y protegidos de la luz bajo un constante gaseo de CO₂ para mantener la anaerobiosis.

FERMENTACIONES *in vitro* Y ESTIMACIÓN DE CH₄

Las incubaciones *in vitro* se realizaron en de frascos de vidrio ámbar de 120 mL de capacidad, y fueron cerrados hermético que consta de un tapón de goma y un anillo de aluminio. Se pesaron dentro de cada frasco 500 mg de cada ración experimental (seis repeticiones de cada tratamiento) previamente molidas a un tamaño de partícula de 1 mm. El líquido cecal se homogenizo por tratamiento y en relación 1:9 dentro de una solución mineral estandarizada que serán preparadas de acuerdo a Ferraro *et al.* (2009) y que consisten en solución mineral I (6,0 g de fosfato de potasio dibásico por litro de agua destilada; solución mineral II (6,0 g fosfato de potasio dibásico; 6,0 g de sulfato de amonio; 12,0 g cloruro de sodio; 2,45 g de sulfato de magnesio y 1,6 g de cloruro de calcio por litro de agua destilada); solución carbonato de sodio al 8%; y solución reductora (2,5 g de l-cisteína en 15 ml de hidróxido de sodio (2N), 2,5 g de sulfuro de sodio y 0,1 ml de Rezarsurina al 1%). Cada frasco fue llenado con 80 mL de inóculo cecal estandarizado y fueron puestos en un baño maría a 39° C y se les midió la presión de gas a 0, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60, 72 h de incubación empleando un manómetro digital (Theodorou *et al.*, 1994). Cada medición de presión fue ajustada al modelo lineal $V_0 = V_m / (1 + e^{(2 - 4 * s * (t/L))})$ propuesto por Menke y Steingass (1988) para transformarse a volumen de gas y estimar en cada fracción de tiempo producción de gas, los cuales son: fase *lag* (h), volumen máximo (V_m) y tasa de producción de gas (S).

La estimación de gases de efecto invernadero producidos por la fermentación cecal de cada tratamiento se realizó tomando el gas producido a las 0, 3, 6, 9, 12 y 24 h utilizando una jeringa graduada de vidrio de 50 mL de capacidad y depositándolo en trampas de hidróxido de sodio donde se fijó el CO₂ y el gas residual será atribuido por diferencia a él volumen de CH₄

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS RACIONES EXPERIMENTALES

Se realizó el análisis químico de cada ración a través de las técnicas reportadas por la AOAC (2005) para calcular materia seca, cenizas y proteína cruda y las fracciones de fibra detergente neutra y detergente ácida mediante la técnica de van Soest *et al.* (1991). Los ingredientes, porcentajes de inclusión y aportes de las raciones experimentales se encuentran dentro del Cuadro 2. Los requerimientos para conejos en finalización son 90 % de materia seca, 165-185 g de proteína cruda, 330 a 350 g de fibra detergente neutro y 60 a 180 de fibra detergente ácido (NRC, 1977). Los aportes de las raciones formuladas y ofrecidas a los conejos cumplieron con los requerimientos necesarios para conejos en finalización.

ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados de la prueba productiva, fermentación *in vitro* y estimación de CO₂ y CH₄ serán analizados mediante un diseño completamente al azar y la comparación de medias se realizará con una prueba de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0.05$. Para comportamiento productivo se utilizaron diez repeticiones por tratamiento y se utilizó el peso inicial como covariable; para las incubaciones *in vitro* se utilizaron seis repeticiones y tres frascos blancos (sin sustrato) con los que se ajustaron las medias de producción de gas.

Cuadro 2. Dietas experimentales y composición química estimada de raciones para conejos con paja de avena y colina vegetal.

	Inclusión de colina vegetal mg kg ⁻¹	
	0	600
<i>Ingredientes, %</i>		
Trigo, salvado	9	9
alfalfa, heno	19	19
Avena, heno	20	20
Maíz, grano	29	29
Soya, pasta	20	20
Aceite vegetal	2	2
<i>Saccharomyces cerevisae</i>	0.3	0.3
Premezcla mineral	0.7	0.7
<i>Composición Química, %</i>		
Materia Seca	91.4	90.9
Proteína Cruda	16.6	16.4
Fibra detergente neutro	35.4	35.8
Fibra detergente acido	24.8	24.3
Cenizas	5.92	6.02

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO

Los resultados de la prueba productiva (Cuadro 3) se encontró diferencia estadística para la variable peso final y consumo de alimento ($P < 0.05$) siendo el tratamiento sin colina vegetal que represento menor peso final y menor consumo. La ganancia diaria de peso mostro una tendencia ($P = 0.065$) a incrementar con la adición de colina vegetal en la ración. No se observó diferencia estadística para las variables consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y digestibilidad.

Cuadro 3. Comportamiento productivo de conejos alimentados con paja de avena y colina vegetal.

	Colina vegetal, mg kg ⁻¹		EEM	P
	0	600		
Peso Inicial, kg	1.069	1.068		
Peso final, kg	2.319 ^b	2.402 ^a	0.064	0.012
Consumó de alimento, g	111.16 ^b	118.95 ^a	3.00	0.021
Ganancia diaria de peso, g	29.40	31.02	1.493	0.065
Conversión alimenticia	3.79	3.86	0.247	0.161
Digestibilidad, %	64.32	66.24	1.004	0.2044

PI= covariable; EE= error estándar de la media; (^{a,b}) medias con diferente superíndice difieren ($P < 0.05$).

El tratamiento con colina vegetal mostró mejor peso final lo cual pudiera estar dado por el aporte de conjugados de colina que aporta tal como se ha observado en otra investigación donde incluyeron la ración diferentes niveles de colina herbal (0, 200, 400, 600, y 800 mg kg⁻¹) en una ración para conejos en finalización (Jaurez-Espinosa *et al.*,

2022). En otras investigaciones donde evalúan formulas poliherbales en conejos no se ha mejorado el comportamiento productivo, pero se han reportado otros beneficios como actividad desparasitante (Atkinson *et al.*, 2021) y mejoradores del metabolismo de la glucosa (Dwivedi y Daspaal, 2013) y hepatoprotectores (Fiaz *et al.*, 2017). El consumo de alimento se encontró dentro del promedio observado en otras investigaciones: 110.8 g (Fraga *et al.*, 1991), 121 g (Guidenne *et al.*, 2000), 118 g (Gómez-Conde *et al.* 2009), 123 g (Duprat *et al.*, 2016) y al no existir cambios estadísticos se sugiere que la inclusión de colina vegetal y la utilización de un forraje de baja calidad no altera el consumo en conejos. Cheeke *et al.* (1977) reportan que los conejos prefieren consumir forrajes y plantas con saponinas a un nivel de 2 mg g⁻¹ por lo que la inclusión de fórmulas poliherbales con metabolitos secundarios en esta especie puede darse sin muchos problemas de consumo. En cuanto a la ganancia diaria de peso, los datos obtenidos en esta investigación han sido similares a los publicados en otras investigaciones (Nguyen y Truong, 2017; Jaurez-Espinosa *et al.*, 2022).

La digestibilidad de algunos nutrientes ha incrementado con la inclusión de colina proveniente de fuentes herbales, por ejemplo, en vacas lecheras ha incrementado la digestibilidad del extracto etéreo (Nunes *et al.*, 2022). En otras investigaciones en otras especies se reportaron incrementos en la digestibilidad al incluir este aditivo vegetal en perros (Mendoza-Martínez *et al.*, 2021; do Nascimento *et al.*, 2022) o corderos en finalización (Rodríguez-Guerrero *et al.*, 2018). En conejos no se ha evaluado la digestibilidad al incluir este aditivo herbal sin embargo la utilización de otras plantas como aditivos alimenticios no ha mejorado la digestibilidad de las raciones (Molina *et al.*, 2015; Kovitvadhi *et al.*, 2016; El-Adawy *et al.*, 2020), por lo que se sugiere que los efectos positivos se localicen incrementando el estado de salud, incrementando la energía disponible de la ración o eficientizando el metabolismo.

PRODUCCIÓN DE GAS *in vitro* Y GASES DE EFECTO INVERNADERO

Los resultados de las variables de producción de gas *in vitro* y gases de efecto invernadero se encuentran en el Cuadro 4. No se observaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) para volumen máximo de gas (V_{max}), tasa de producción de gas (S) y fase *Lag*. Sin embargo, los gases de efecto invernadero se disminuyeron estadísticamente ($P < 0.05$) con la adición de colina vegetal.

El volumen de gas ha disminuido cuando los sustratos a fermentar dentro de las incubaciones no tienen suficientes carbohidratos fermentables o cuando algún componente a evaluar afecta la microbiota (Razo-Ortíz *et al.*, 2021). Los datos observados en nuestra investigación muestran que la inclusión de colina vegetal no modifica las bacterias cecales y pueden utilizarse en la alimentación de conejos, sin embargo, es importante considerar que la microbiota cecal estaba previamente adaptada a cada tratamiento.

Cuadro 4. Producción de gas *in vitro* y metano de conejos alimentados con paja de avena y colina vegetal.

	Colina vegetal, mg kg ⁻¹		EEM	P
	0	600		
V_{max} , mL	164.63	170.06	1.297	0.226
S , %/h	0.0287	0.0284	0.0006	0.220
<i>Lag</i> , h	1.97	1.93	0.159	0.245
CH ₄ , mL	19.00 ^b	14.33 ^a	1.086	0.021
CO ₂ , mL	54.50 ^b	40.16 ^a	0.586	0.0001

V_{max} : Producción máxima de gas (mL), S : máxima tasa de producción de gas, L : fase *Lag* (h), tiempo de adhesión de los microorganismos cecales al sustrato; EE= error estándar de la media; (^{a,b}) medias con diferente superíndice difieren ($P < 0.05$).

La fase *Lag* corta es un indicador de una rápida adhesión de los microorganismos al sustrato y se ha reportado que puede retrasarse cuando se evalúan aditivos que afectan a las bacterias. Una posible razón por la que la fase *Lag* fue rápida en ambos tratamientos es la previa adaptación de los microorganismos a la dieta durante la prueba productiva, sin embargo, la microbiota del conejo esta capacitada para digerir la fibra de una manera eficiente y la paja de avena tiene mayor cantidad de fibra haciendo la superficie de adhesión mayor y acelerándose el proceso fermentativo (Chang *et al.*, 2007).

Los valores de la tasa de producción de gas son menores con respecto a otras fermentaciones *in vitro* donde se ha utilizado liquido ruminal (Arenas *et al.*, 2010; Pulido-Rodríguez, 2015). Estos valores antes mencionados de producción de gas pueden ser atribuidos a los aportes nutricionales de los sustratos evaluados (Salem, 2005) de la misma forma, la liberación de gas fermentativo en estas incubaciones suele variar dependiendo del contenido de fibra detergente neutro que contiene la ración.

El metano (CH₄) y el dióxido de carbono disminuyeron con la adición de colina vegetal lo cual es de importancia por la búsqueda de alternativas naturales que disminuyan los gases de efecto invernadero provenientes de la industria pecuaria (Bodas *et al.*, 2012). Estos aditivos naturales como las saponinas, taninos y aceites esenciales son una opción viable que se ha investigado de manera amplia y con buenos resultados (Wallace *et al.*, 2002), sin embargo, en conejos y otros pequeños herbívoros se ha desestimado su porcentaje de emisión. Se ha reportado que los conejos tienen diferentes porcentajes de emisión de metano y que esta diferencia es acorde a su edad siendo conejos jóvenes los que menor porcentaje de metano (CH₄) producen (Mauronek *et al.*, 1999). Esta investigación mostro una generación de CH₄ ligeramente mayor que la reportada por Belenguer *et al.* (2008) siendo los conejos utilizados en ambos experimentos de edades similares. En otras investigaciones, se ha reportado mayor emisión de CH₄ en fermentaciones *in vitro* de ciego de conejos con sustratos que contenían elevada etapa fenológica por lo mismo, altos en lignina (Mceniry y O'kiely, 2013). La disminución del CO₂ que provocó la colina vegetal es importante ya que, también es un gas de efecto invernadero y en otras investigaciones *in vitro* donde se

reporta disminución de CH₄ se incrementan las emisiones de CO₂ (Osorio-Teran *et al.*, 2018). Esta ventaja fermentativa podría utilizarse en la producción de conejos ya que se mantienen las emisiones de CH₄ y se disminuye la liberación de CO₂.

8. CONCLUSION

Se puede concluir que la utilización paja de avena y la adición de 600 mg kg^{-1} de colina vegetal en raciones para conejos en finalización disminuyó la emisión de metano en un 24.57 % y la emisión de dióxido de carbono en un 26.17 % comparado con el tratamiento testigo, con lo cual podría ser una opción viable y alternativa a la inclusión de otros forrajes de mayor calidad.

Productivamente, la inclusión de 600 mg^{-1} de colina vegetal incremento 80 g el peso final de conejos y 8 g diarios el consumo de alimento, lo cual sugiere utilizar una dosis mayor con raciones formuladas con paja de avena para observar si los beneficios productivos incrementan de acuerdo a una dosis elevada.

Por lo cual, sería conveniente continuar con investigaciones similares utilizando esquilmos agrícolas (pajas) en la alimentación de conejos y evaluar el comportamiento de los conejos ya se considera una opción viable, rentable y saludable en la producción de alimentos de origen animal.

9. REVISION DE LITERATURA

- Adedeji, O. A., Osowe, C. O., & Folayan, J. A. (2015). Socio-economic characteristic and profitability analysis of rabbit production in Ondo state, Nigeria. *European Journal of Physical Agricultural Sciences*, 3: 10, 19.
- Adesogan, A. T., Havelaar, A. H., McKune, S. L., Eilittä, M., & Dahl, G. E. (2020). Animal source foods: sustainability problem or malnutrition and sustainability solution? Perspective matters. *Global Food Security*, 25, 100325.
- 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.
- Anaya-Lira, M., Gutiérrez-Olvera, C., Ducoing-Watty, A. M., & Jiménez-Gómez, F. (2016). Descripción de una técnica quirúrgica de canulación en conejos para la obtención de contenido cecal. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 48(1), 133137.
- AOAC (2005). Official Methods of Analysis. 17th edition. Arlington, VA; Association of Official Analytical Chemists.
- Arenas, F. A., Noguera, R. R., & Restrepo, L. F. (2010). Efecto de diferentes tipos de grasa en dietas para rumiantes sobre la cinética de degradación y fermentación de la materia seca *in vitro*. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(1), 55-64.
- Arrington, L. R., & Kelley, K. C. (1976). Domestic rabbit biology and production. University Presses of Florida.
- Arzani, H., Zohdi, M., Fish, E., Amiri, G. Z., Nikkhah, A., & Wester, D. (2004). Phenological effects on forage quality of five grass species. *Journal of Range Management*, 57(6), 624-629.
- Atkinson, A., Espinosa-Ayala, E., Hernández, P. A., Le-Roux, J. F., Mendoza, G. D., Pulido-Huertas, S., Velazquez-Cruz, L. & Colin, M. (2021). Effect of a polyherbal mixture of *Saccharum officinarum* and of *Acacia concinna* on the oocystal excretion,

zootechnical performance and meat quality of growing rabbits. In *Proceedings 12th World Rabbit Congress*.

Attia, Y. A., Al-Harhi, M. A., Korish, M. A., & Shiboob, M. M. (2017). Fatty acid and cholesterol profiles, hypocholesterolemic, atherogenic, and thrombogenic indices of broiler meat in the retail market. *Lipids in Health and Disease*, 16, 1-11.

Attia, Y. A., El-Hanoun, A. M., Bovera, F., Monastra, G., El-Tahawy, W. S., & Habiba, H. I. (2014). Growth performance, carcass quality, biochemical and haematological traits and immune response of growing rabbits as affected by different growth promoters. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98(1), 128-139.

Bekuma, A. (2019). Nutritional benefit and economic value of hydroponics fodder production technology in sustainable livestock production against climate change—a mini-review. *Advances in Applied Sciences*, 4(1), 23.

Belenguer, A., Fondevila, M., Balcells, J., Abecia, L., Lachica, M., & Carro, M. D. (2008). In vivo and *in vitro* study of caecal fermentation pattern and methanogenesis in rabbits. In *Proceedings of 9th world rabbit congress, Verona, Italy* (pp. 535-540).

Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13-26.

Bodas, R., Prieto, N., García-González, R., Andrés, S., Giráldez, F. J., & López, S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1-4), 78-93.

Brewer, N. R. (2006). Biology of the rabbit. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 45(1), 8-24.

Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10), 1-12.

- 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. (1998). The digestive system of the rabbit. In:deblas E, Wiseman J, editors. The nutrition of the rabbit. CABI Publishing; p.1–16.
- Carabaño, R., Fraga, M.J. and de Blas, J.C. (1989) Effect of protein source in fibrous diets on performance and digestive parameters of fattening rabbits. *Journal of Applied Rabbit Research*, 12, 201–204.
- Carabaño, R., Fraga, M.J., Santomá, G. and de Blas, J.C. (1988) Effect of diet on composition of caecal contents and on excretion and composition of soft and hard feces of rabbits. *Journal of Animal Science*, 66, 901–910.
- Carabaño, R., Motta-Ferreira, W., de Blas, J.C. and Fraga, M.J. (1997) Substitution of sugarbeet pulp for alfalfa hay in diets for growing rabbits. *Animal Feed Science and Technology*, 65, 249–256.
- Cardinali, R., Rebollar, P. G., Dal Bosco, A., Cagiola, M., Moscati, L., Forti, K., Mazzone P., Scicutella N., Rutili D., Mugnai C. & Castellini, C. (2008). Effect of dietary supplementation of organic acids and essential oils on immune function and intestinal characteristics of experimentally infected rabbits. In *Proceedings of the 9th World Rabbit Congress–June* (pp. 10-13).
- Carroll, K. K., Braden, L. M., Bell, J. A., & Kalamegham, R. (1986). Fat and cancer. *Cancer*, 58(S8), 1818-1825.
- Castelan-Ortega, O. A., Ku-Vera, J. C., Molina, L. T., Pedraza-Beltrán, P. E., Canul-Solis, J. R., Piñeiro-Vázquez, A., Hernández-Pineda, G. & Benaouda, M. (2015). First *in vivo* Measurements of Methane Emissions from Ruminant Livestock Enteric Fermentation in Mexico Using Respiration Chambers. In: *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2015, pp. GC13E-1205).

- Castellini, C., Dal Bosco, A., Arias-Álvarez, M., Lorenzo, P. L., Cardinali, R., & Rebollar, P. G. (2010). The main factors affecting the reproductive performance of rabbit does: A review. *Animal Reproduction Science*, 122(3-4), 174-182.
- Castro-Montoya, J., De Campeneere, S., Van Ranst, G., & Fievez, V. (2012). Interactions between methane mitigation additives and basal substrates on in vitro methane and VFA production. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1-4), 47-60.
- Chang, Y., Qin, Y., Xiong, Y., Du, Y., & Meng, Q. (2006). Response of growth performance, cecal fermentation traits and *in vitro* gas production to substitution of soyhulls for lignified fiber in rabbit diets. *Asian-australasian journal of animal sciences*, 20(1), 45-51.
- Cheeke, P.R., Grobner M.A. and Patton N.M. (1986). Fiber digestion and utilization in rabbits. *Journal Applied Rabbit Research*, vol 9 (1) 25-30.
- Combes, S.; Dalle-Zotte, A. (2005). La viande de lapin: valeur nutritionnelle et particularités technologiques. In: Proceedings 11èmes Journées de la Recherche Cunicole, pp. 167-180, 29- 30 November 2005, Paris, France.
- Cossu, M.E. & Capra G. (2014). Valor nutritivo de la carne de conejo y su potencial como alimento funcional. *Tecnología de producción de conejos para carne*, Serie técnica INIA, 216.
- Crutzen, P. J., Aselmann, I., & Seiler, W. (1986). Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 38(3-4), 271-284.
- Cullere, M., Dalle Zotte, A., Celia, C., Renteria-Monterrubio, A. L., Gerencsér, Z., Szendrő, Z., Kovácsb, M., Kachlekb, M.L., Matics, Zs & Matics, Z. (2016). Effect of *Silybum marianum* herb on the productive performance, carcass traits and meat quality of growing rabbits. *Livestock Science*, 194, 31-36.
- 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.
- DeFries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3(3), 178-181.
- Della-Rosa, M. M., Jonker, A., & Waghorn, G. C. (2021). A review of technical variations and protocols used to measure methane emissions from ruminants using respiration chambers, SF6 tracer technique and GreenFeed, to facilitate global integration of published data. *Animal Feed Science and Technology*, 279, 115018.
- DeOme GC, Leffel EC. 1972. Effect of cecotomy on digestive processes in the rabbit. *Journal of Animal Science*, 35:215.
- do Nascimento, R. C., Souza, C. M. M., Bastos, T. S., Kaelle, G. C. B., de Oliveira, S. G., & Félix, A. P. (2022). Effects of an Herbal Source of Choline on Diet Digestibility and Palatability, Blood Lipid Profile, Liver Morphology, and Cardiac Function in Dogs. *Animals*, 12(19), 2658.
- Duprat, A., Goby, J. P., Roinsard, A., Van Der Horst, F., Le Stum, J., Legendre, H., ... & Gidenne, T. (2016, June). Pasture finishing of organic rabbit: grass intake and growth—first results. In *Proceedings of the 11th World Rabbit Congress, Qingdao, China* (pp. 931-934).
- Dwivedi, C., & Daspaul, S. (2013). Antidiabetic herbal drugs and polyherbal formulation used for diabetes: A review. *Journal Phytopharmacol*, 2(3), 44-51.
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.

- Ehhalt, D. H. (1967). Methane in the atmosphere. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 17(8), 518-519.
- El-Adawy, M. M., Salem, A. Z., Khodeir, M. H., Khusro, A., Elghandour, M. M., Rojas Hernandez, S., & Al-Shamandy, O. A. (2020). Influence of four tropical medicinal and aromatic plants on growth performance, digestibility, and blood constituents of rabbits. *Agroforestry Systems*, 94, 1279-1289.
- El-Moghazy, M., El-Fadaly, H. A., Khalifa, E. I., & Mohamed, M. A. (2019). Effect of dietary zinc-methionine on growth, carcass traits, antioxidants and immunity of growing rabbits. *Journal of Animal and Poultry Production*, 10(3), 59-66.
- Eriksson, S. (1952). Metabolism of rabbits at different levels of crude fiber and protein. *Kungliga Lantbrukshogskolans Annaler*, 19, 7-108.
- FAO/WHO. (2008). Interim summary of conclusions and dietary recommendations on total fat fatty acids. The Joint FAO/WHO Expert Consultation on Fats and Fatty Acids in Human Nutrition. FAO database <http://faostat.fao.org> Consultado 21/05/2023
- FAOSTAT. (2020). Ganadería. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consultado 10 Sep, 2020.
- Farina, G., Kessler, A.D.M., Ebling, P.D., Marx, F.R., César, R., & Ribeiro, A.M.L. (2017). Performance of broilers fed different dietary choline sources and levels. *Ciência Animal Brasileira*, 18, e37633.
- Ferrando, R. (1975). Future of additives in animal feeding. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 22, 183-235.
- Ferraro, S. M., Mendoza, G. D., Miranda, L. A., & Gutiérrez, 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.

- Fiaz, M., Fiaz, N., Shakir, L., Alamgeer, A., Mehmood, W., Mustafa, G., ... & Najam, K. (2017). Hepatoprotective effect of a polyherbal formulation and ascorbic acid in paracetamol induced hepatic damage in rabbits. *Biomedical Research and Therapy*, 4(4), 1261-1277.
- Fik, M., Arpášová, H., Chlebo, R., & Andreji, J. (2015). Comparison of the Emanox and Sulfacox coccidiostats in broiler rabbit farming. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 18(1), 10-14.
- 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.
- Fonseca, A. P., Falcao, L., Kocher, A., & Spring, P. (2004). Effects of dietary mannan oligosaccharide in comparison to oxytetracyclin on performance of growing rabbits. *Proc. 8th World Rabbit Congr., Puebla, Mexico, C. Becerril and A. Pro (Eds.), Puebla, Mexico*, 829-833.
- Forsythe, S. J., & Parker, D. S. (1985). Urea turnover and transfer to the digestive tract in the rabbit. *British Journal of Nutrition* 53(1), 183-190.
- Fraga, M. J., Pérez de Ayala, P., Carabaño, R., & De Blas, J. C. (1991). Effect of type of fiber on the rate of passage and on the contribution of soft feces to nutrient intake of finishing rabbits. *Journal of Animal Science*, 69(4), 1566-1574.
- Fraga, M.J., Pérez de Ayala, P., Carabaño, R. and de Blas, J.C. (1991) Effect of type of fibre on rate of passage and on the contribution of soft feces to nutrient intake of fattening rabbits. *Journal of Animal Science* 69, 1566–1574.
- García Hernández, Y., & García Curbelo, Y. (2015). Uso de aditivos en la alimentación animal: 50 años de experiencia en el Instituto de Ciencia Animal. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(2), 173-177.
- García, J., Carabaño, R., Pérez-Alba, L., & De Blas, J. C. (2000). Effect of fiber source on cecal fermentation and nitrogen recycled through cecotrophy in rabbits. *Journal of Animal Science*, 78(3), 638-646.

- García, J., Gidenne, T., Falcao E Cunha, L. and de Blas, J.C. (2002) Identification of the main factors that influence caecal fermentation traits in growing rabbits. *Animal Research*, 51, 165–173.
- Gidenne, T. (2000). Recent advances in rabbit nutrition: emphasis on fibre requirements. A review. *World Rabbit Science*, 8(1), 23-32.
- 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., Combes, S., & Fortun-Lamothe, L. (2012). Feed intake limitation strategies for the growing rabbit: effect on feeding behaviour, welfare, performance, digestive physiology and health: a review. *Animal*, 6(9), 1407-1419.
- 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.
- Gu, D., Andreev, K., & Dupre, M. E. (2021). Major trends in population growth around the world. *China CDC weekly*, 3(28), 604.
- Hammond, K. J., Waghorn, G. C., & Hegarty, R. S. (2016). The GreenFeed system for measurement of enteric methane emission from cattle. *Animal Production Science*, 56(3), 181-189.
- 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.
- Hernández, P. & Dalle-Zotte A. (2010). Influence of diet on rabbit meat quality. pp 163-178. In: Nutrition of the rabbit. Edited by C. de Blas, Universidad Politécnica, Madrid, J. Wiseman, University of Nottingham, UK.

- Hernández, P. (2007). Carne de conejo, ideal para dietas bajas en ácido úrico. *Revista Científica de Nutrición*, N° 8 septiembre. Boletín de cunicultura, 154: 33-36.
- Hirschfeld, Z., Weinrab, M. M., & Michaeli, Y. (1973). The incisors of the rabbit: anatomy, physiology and post-natal development. *Journal of Dental Research*, 52, 377-384.
- Hove, E. L., Copeland, D. H., & Salmon, W. D. (1954). Choline Deficiency in the Rabbit: Seven Figures. *The Journal of Nutrition*, 53(3), 377-389.
- Hutchinson, G. E. (1949). A note on two aspects of the geochemistry of carbon. *American Journal of Science*, 247.27-32.
- Ibrahim, N. H., Morsy, A. S., & Ashgan, M. E. (2014). Effect of Moringa peregrine seeds on productive performance and hemato-biochemical parameters of growing rabbits. *Journal of American Science*, 10(6), 7-12.
- Irlbeck, N. A. (2001). How to feed the rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) gastrointestinal tract. *Journal of Animal Science*, 79: 343-346.
- Islam, M.A., Amin, M.N., Siddiqui, S.A., Hossain, M.P., Sultana, F., & Kabir, M.R. (2019). Trans fatty acids and lipid profile: A serious risk factor to cardiovascular disease, cancer and diabetes. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 13(2), 1643-1647.
- 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.

- Jenkins JR. (2000). Rabbit and ferret liver and gastrointestinal testing. In: Fudge AM, editor. Laboratory medicine avian and exotic pets. Philadelphia: W.B. Saunders. p. 291–304.
- Kakasaheb, K., Manwar, S., Mayura, G., Ranjeet, I., Rathod, P. (2019) 'Replacement of Synthetic Choline Chloride by Herbal Choline in Diets on Liver Function Enzymes, Carcass Traits and Economics of Broilers', *Journal of Animal Research*, 9(1), pp. 87–93. doi: 10.30954/2277-940x.01.2019.12.
- Kamel, D. A., Abdel-Khalek, A. E., & Gabr, S. A. (2020). Effect of dietary zinc-oxide or nano-zinc oxide on growth performance, oxidative stress, and immunity of growing rabbits under hot climate conditions. *Journal of Animal and Poultry Production*, 11(12), 565-571.
- Kathirvelan, C., Chandrasekaran, D., Vasanthakumar, P., & Purushothaman, M. R. (2013). Effect of replacement of synthetic choline with herbal choline on growth performance of broilers. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 30(2), 184-187.
- Khose, K. K., Manwar, S. J., Gole, M. A., Ingole, R. S., & Rathod, P. R. (2018). Efficacy of herbal choline as a replacement of synthetic choline chloride in diets on growth performance of broilers. *International Journal of Livestock Research*, 8(10), 313-322.
- Kirchgessner, M. 1985. Ganadería. DLG-Verlag Frankfurt, 6ª edición, 488 pp
- Kovitvadhi, A., Gasco, L., Ferrocino, I., Rotolo, L., Dabbou, S., Malfatto, V., ... & Zoccarato, I. (2016). Effect of purple loosestrife (*Lythrum salicaria*) diet supplementation in rabbit nutrition on performance, digestibility, health and meat quality. *Animal*, 10(1), 10-18.
- Kritas, S. K., Petridou, E. I., Fortomaris, P., Tzika, E., Arsenos, G., & Koptopoulos, G. (2008). The effect of probiotics on microbiology, health and performance of fattening rabbits. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(9), 1312-1317.
- Króliczewska, B., Pecka-Kiełb, E., & Bujok, J. (2023). Strategies Used to Reduce Methane Emissions from Ruminants: Controversies and Issues. *Agriculture*, 13(3), 602.

- Kulwich, R., Struglia, L., & Pearson, P.B. (1953). The effect of coprophagy on the excretion of B vitamins by the rabbit. *The Journal of Nutrition*, 49(4), 639-645.
- Kweku, D. W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K. A., Danso, K. B., Oti-Mensah, E. A., & Adormaa, B. B. (2018). Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. *Journal of Scientific Research and Reports*, 17(6), 1-9.
- Langer, P. (2002). The digestive tract and life history of small mammals. *Mammal Review*, 32(2), 107–131. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2907.2002.00101.x>
- Li, R., Li, X., Huang, T., Wang, Y., Xue, M., Sun, S., Yan, D., Song, G, Sun G, Li, M. & 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.
- Litterio, N.J., & Aguilar, M.S. (2017). Consideraciones anatomo-fisiológicas para el uso prudente de fármacos en conejos. *Panorama Actual del Medicamento*, 41(405), 679-684.
- Machmüller, A., Ossowski D.A., Wanner M., & Kreuzer M. (1998). Potential of various fatty feeds to reduce methane release from rumen fermentation *in vitro* (Rusitec). *Animal Feed Science and Technology*, 71:117–130.
- Mahfuz, S., Mun, H. S., Dilawar, M. A., Ampode, K. M. B., & Yang, C. J. (2022). Potential role of protocatechuic acid as natural feed additives in farm animal production. *Animals*, 12(6), 741.
- Marounek, M., Fievez, V., Mbanzamihigo, L., Demeyer, D., Maertens, L. (1999). Age and incubation time effects on *in vitro* caecal fermentation pattern in rabbits before and after weaning. *Archives of Animal Nutrition*. 52, 195-201
- Marounek, M., Vovk, S. J., & Skřivanová, V. (1995). Distribution of activity of hydrolytic enzymes in the digestive tract of rabbits. *British Journal of Nutrition*, 73(3), 463-469.

- Martínez, M. E., Ranilla, M. J., Tejido, M. L., Saro, C., & Carro, M. D. (2010). The effect of the diet fed to donor sheep on *in vitro* methane production and ruminal fermentation of diets of variable composition. *Animal Feed Science and Technology*, 158(3-4), 126-135.
- Marty, J. and Vernay, M. (1984) Absorption and metabolism of the volatile fatty-acids in the hind-gut of the rabbit. *British Journal of Nutrition*, 51, 265–277.
- Matusevičius, P., Ašmenskaitė, L., Žilinskienė, A., Gugolek, A., Lorek, M. O., & Hartman, A. (2006). Effect of probiotic bioplus 2B® on performance of growing rabbit. *Veterinaria ir Zootechnika* 56, 54-59.
- Mceniry, J. and P. O’Kiely (2013). Anaerobic methane production from five common grassland species at sequential stages of maturity. *Bioresource technology*. 127: 143-150
- McNitt, J. I., Lukefahr, S. D., Cheeke, P. R., & Patton, N. M. (2013). Rabbit production. Oxfordshire: CABI Publishers.
- Mendoza Martínez, G. D., López, M. Á., Hernández García, P. A., Ríos Hilario, J. J., González, J., & Trujillo, A. G. (2021). Effect of the inclusion of herbal phosphatidylcholine on palatability, digestibility and metabolisable energy of the diet in dogs. *Austral journal of veterinary sciences*, 53(3), 161-167.
- Menke, K. H. and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research Development*, 28: 7-55.
- Molina, E., González-Redondo, P., Moreno-Rojas, R., Montero-Quintero, K., Bracho, B., & Sánchez-Urdaneta, A. (2015). Effects of diets with *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. on performance and digestibility of growing rabbits. *World Rabbit Science*, 23(1), 9-18.
- Montenegro-Ballesteros, J., & Barrantes-Guevara, E. (2016). Implementación de la técnica del hexafluoruro de azufre para cuantificar metano entérico en bovinos en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 50(2), 62-74.

- Moreno-Gudiño, H. C. (2014). *Efectos de la colina dietaria en la memoria y atención*. Universidad de Granada.
- Motta-Ferreira, W., Fraga, M.J. & Carabaño, R. (1996). Inclusion of grape pomace, in substitution for lucerne hay, in diets for growing rabbits. *Animal Science* 63, 167–174.
- Mourão, J. L., Pinheiro, V., Alves, A., Guedes, C. M., Pinto, L., Saavedra, M.J., Spring P. y Kocher, A. (2006). Effect of mannan oligosaccharides on the performance, intestinal morphology and cecal fermentation of fattening rabbits. *Animal Feed Science and Technology*, 126(1-2), 107-120.
- Mozhiarasi, V., Weichgrebe, D., & Srinivasan, S. V. (2020). Enhancement of methane production from vegetable, fruit and flower market wastes using extrusion as pretreatment and kinetic modeling. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1-21.
- Muller, R. A., & Muller, E. A. (2017). Fugitive methane and the role of atmospheric half-life. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*, 5(3), 1-7.
- Nguyen, T. K. D., & Truong, T. T. (2017). Effect of different protein sources in the diets on feed intake, nutrient digestibility, growth and carcass value of Californian rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in the Mekong delta of Vietnam. *Can Tho University Journal of Science*, (05), 158-165.
- Ni, B. J., Yuan, Z., Chandran, K., Vanrolleghem, P. A., & Murthy, S. (2013). Evaluating four mathematical models for nitrous oxide production by autotrophic ammonia-oxidizing bacteria. *Biotechnology and Bioengineering*, 110(1), 153-163.
- Nikolova, D., & Loshkovska, S. (2023). Data Visualization on Global Warming by examining CO₂ emissions. Ss Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Computer Science and Engineering, Republic of North Macedonia.
- NRC (1977) *Nutrient Requirements of Rabbits*. National Academy of Science, National Research Council, Washington, DC, USA.
- Nunes, A. T., Takiya, C. S., da Silva, G. G., Ghizzi, L. G., Grigoletto, N. T., Dias, M. S., ... & Renno, F. P. (2022). Increasing doses of biocholine on apparent digestibility,

ruminal fermentation, and performance in dairy cows. *Livestock Science*, 260, 104927.

Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M. & Steinfeld, H. (2013). *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains—A global life cycle assessment*. Food and agriculture organization of the United Nations.

Osorio-Teran, A. I., Mendoza-Martínez, G. D., 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.

Papatsiros, V. G., Christodouloupolos, G., & Filippopoulos, L. C. (2012). The use of organic acids in monogastric animals (swine and rabbits). *Journal of Cell and Animal Biology*, 6(10), 154-159.

Para P.A., Ganguly S., Wakchaure R., Sharma R., Mahajan T., y 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.

Plasek, B., & Temesi, Á. (2019). The credibility of the effects of functional food products and consumers' willingness to purchase/willingness to pay—review. *Appetite*, 143, 104398.

Pond, W. G., D. C. Church and K. R. Pond. (1995). *Basic Animal Nutrition and Feeding*. 4th (Ed. John Wiley and Sons). New York. 451-45

Pulido-Rodríguez, M. A. (2015). Efecto de la adición de *Saccharomyces cerevisiae* y pared celular en la dieta de ovinos en finalización sobre la fermentación *in vitro*, comportamiento productivo, características de la canal y calidad de carne (Master's thesis, Universidad Autónoma del Estado de México).

Ramin, M., & Huhtanen, P. (2012). Development of an *in vitro* method for determination of methane production kinetics using a fully automated *in vitro* gas system—A modelling approach. *Animal Feed Science and Technology*, 174(3-4), 190-200.

- Rasmussen, R. A. and Khalil, M. A. K. (1984). Atmospheric methane in the recent and ancient atmospheres: concentrations, trends, and interhemispheric gradient *Journal of Geophysical Research*. Res. 89, 1 1599-1 1605.
- Razo-Ortíz, P. B., Hernández-García, P. A., Martínez-García, J. A., Vázquez-Silva, G., Mendoza-Martínez, G. D., & Diaz-Galván, C. (2021). Producción de gas *in vitro* de antihelmínticos naturales para rumiantes. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(2), 95-99.
- 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). Análisis de la presencia de Rotavirus en conejos del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), 511-521.
- 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.
- Rodríguez-Guerrero, V., Lizarazo, A. C., Ferraro, S., Miranda, L. A., Mendoza, G. D., & Suárez, N. (2018). Effect of herbal choline and rumen-protected methionine on lamb performance and blood metabolites. *South African Journal of Animal Science*, 48(3), 427-434.
- 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.
- Sakaguchi, E. (2015). Digestive strategies of small hindgut fermenters. *Animal Science Journal*, 74(5), 327–337. <https://doi.org/10.1046/j.1344-3941.2003.00124.x>
- Sala, O.E., Stuart Chapin, F.I.I.I., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald E., Huenneke L., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R. David M. Lodge D.M., Harold Mooney A., Oesterheld M., Poff I.E., Sykes T., Brian H.

- Walker H., Walker M. & Wall, D.H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459), 1770-1774.
- Salem A.Z.M. 2005. Impact of season of harvest on *in vitro* gas production and dry matter degradability of *Acacia saligna* leaves with inoculum from three ruminant species. *Animal Feed Science and Technology*, 123-124, 67-79.
- Sanchis, E., Ferrer, M., Torres, A. G., Cambra-López, M., & Calvet, S. (2012). Effect of water and straw management practices on methane emissions from rice fields: a review through a meta-analysis. *Environmental Engineering Science*, 29(12), 1053-1062.
- Schneider, W. and Menke, K. H. 1982. Estudios sobre el valor alimentario energético de los fragmentos de melaza en raciones para cerdos. *Z. Animal Physiology, Animal Nutrition and Feed Science*, 48, 233-240.
- Segers, R. (1998). Methane production and methane consumption: a review of processes underlying wetland methane fluxes. *Biogeochemistry*, 41, 23-51.
- Sharma, A. and Ranjan, S. (2015). Effect of herbal and chemically synthetic choline on physio-biochemical characteristic of chicks. *Journal of Global Biosciences*, 4(6): 2537-2542.
- Siddiqui, S. A., Gerini, F., Ikram, A., Saeed, F., Feng, X., & Chen, Y. (2023). Rabbit Meat—Production, Consumption and Consumers' Attitudes and Behavior. *Sustainability*, 15(3), 2008.
- Soliva, C. R., & Hess, H. D. (2007). Measuring methane emission of ruminants by *in vitro* and *in vivo* techniques. In *Measuring methane production from ruminants* (pp. 15-31). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Stępniewska, Z., & Kuźniar, A. (2013). Endophytic microorganisms—promising applications in bioremediation of greenhouse gases. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, 9589-9596.
- Storm, I. M., Hellwing, A. L. F., Nielsen, N. I., & Madsen, J. (2012). Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. *Animals*, 2(2), 160-183.

- Summons, T. G. (1968). Animal feed additives, 1940-1966. *Agricultural History*, 42(4), 305-313.
- Tangerman, A., & Nagengast F.M. (1996). A gas chromatographic analysis of fecal short-chain fatty acids, using the direct injection method. *Analytical Biochemistry*, 236:1-8.
- 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.
- Thompson, M.A., Krissansen-Totton, J., Wogan, N., Telus, M., & Fortney, J.J. (2022). The case and context for atmospheric methane as an exoplanet biosignature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(14), e2117933119.
- Trenberth, K.E., 2010. Global change: The ocean is warming, isn't it? *Nature*, 465: 304-304. DOI: 10.1038/465304a
- Vahter, M., & Marafante, E. (1987). Effects of low dietary intake of methionine, choline or proteins on the biotransformation of arsenite in the rabbit. *Toxicology Letters*, 37(1), 41-46.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell university press.
- Van Soest, P. Robertson, J. Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*, 74: 3583-3597.
- Varga, M. (2013). Textbook of Rabbit Medicine E-Book. Elsevier Health Sciences. Part 1 *Rabbit Basic Science*, pp. 12-75.
- 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.

- Wallace, R.J., McEwan, N.R., McIntosh, F.M., Teferedegne, B., Newbold, C.J., 2002. Natural products as manipulators of rumen fermentation. *Asian Austral. J. Anim.* 15, 1458–1468.
- Wang, H., Lin, H., Rosewarne, C.P., Li, D., Gong, S., Hendry, Greenfield, P., Sherwood, P., Neil & Midgley, D.J. (2016). Enhancing biogenic methane generation from a brown coal by combining different microbial communities. *International Journal of Coal Geology*, 154, 107-110.
- Wood, J.D.; enser, M.; Fisher, A.V.; Nute, G.R.; Sheard, P.R.; Richardson, R.I.; Hughes, S.I.; Whittington, F.M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78: 343-358.
- Yoro, K.O., & Daramola, M.O. (2020). CO₂ emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. In *Advances in carbon capture* (pp. 3-28). Woodhead Publishing.
- Zandalinas, S.I., Fritschi, F.B., & Mittler, R. (2021). Global warming, climate change, and environmental pollution: recipe for a multifactorial stress combination disaster. *Trends in Plant Science*, 26(6), 588-599.
- Zeng, B.O., Han, S., Wang, P., Wen, B., Jian, W., Guo, W., Yu., Z, Du, Z, Fu, X, Fanli, K, Yang, M, & Li, Y. (2015). The bacterial communities associated with fecal types and body weight of rex rabbits. *Scientific Reports*, 5(9342), 9342. <https://doi.org/10.1038/srep09342>