

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIA ANIMAL

**INCORPORACIÓN DE HOJA DE CÍTRICOS Y PAJA DE ARROZ EN
DIETAS DE GANADO CAPRINO EN MANTENIMIENTO**

TRABAJO FIN DE MÁSTER EN PRODUCCIÓN ANIMAL
Curso Académico 2018-2019

ALUMNO: Victoria Roca Saura

TUTOR: Carlos Javier Fernández Martínez

Valencia, 29 de Julio de 2019

RESUMEN

En el actual trabajo se quiere evaluar el efecto de subproductos de residuos de poda de cítricos de naranja y limón y de paja de arroz en cabras Murciano-Granadinas en mantenimiento. Para ello se diseñaran dos experimentos independientes de 10 animales cada uno, los cuales serán subdivididos en dos grupos donde 5 animales se alimentarán de una dieta Control y los otros 5 de una dieta basada en los residuos mencionados. Se les realizará una digestibilidad y una respirometría para valorar el efecto de las dietas en la ingestión, la digestibilidad, el balance energético, el balance de carbono y nitrógeno y la emisión de metano de los animales. Los resultados obtenidos han seguido una tendencia similar en ambos experimentos, siendo los datos más relevantes una eficiencia energética positiva en las tres dietas (de un 44% para la dieta Control, un 23% para la dieta Naranja y un 26% para la dieta Limón), una digestibilidad y energía metabolizable ingerida en las dietas de cítricos menor que en la dieta Control y una cantidad de carbono y nitrógeno excretado en heces y orina mayor que en la dieta Control. También la cantidad de metano emitido por las cabras en gramos por día resultó un 2,3% menor en la dieta Naranja que en la dieta Control, y un 1,9% menor en la dieta Limón que en la dieta Control.

Palabras clave: Cabras, cítricos, arroz, metano.

ABSTRACT

In the current work we want to evaluate the effect of by-products of pruning residues of orange and lemon citrus and rice straw in Murciano-Granadine goats in maintenance. For this, two independent experiments of 10 animals each will be designed, which will be subdivided into two groups where 5 animals will feed on a 'Control' diet and the other 5 on a diet based on the above-mentioned residues. A digestibility and respirometry will be performed to assess the effect of diets on intake, digestibility, energy balance, carbon and nitrogen balance and methane emission from animals. The results obtained have followed a similar trend in both experiments, the most relevant data being a positive energy efficiency in the three diets (44% for the Control diet, 23% for the Orange diet and 26% for the Lemon diet), a digestibility and metabolizable energy ingested in citrus diets less than in the Control diet and an amount of carbon and nitrogen excreted in feces and urine greater than in the Control diet. Also the amount of methane emitted by goats in grams per day was 2.3% lower in the Orange diet than in the Control diet, and 1.9% lower in the Lemon diet than in the Control diet.

Keywords: Goats, citrus, rice, methane.

Agradecimientos

Durante este proyecto, me he sentido enormemente apoyada por las siguientes personas a las cuales quiero mostrar mi más sincero agradecimiento.

A mi tutor Carlos Javier Fernández Martínez, quien ha sabido guiarme con paciencia y dedicación en todo momento, enseñándome muchas cosas durante el proceso.

A Tamara Romero Rueda, con quien he compartido durante muchas semanas el procedimiento experimental en la granja, trabajando con ella y a la vez disfrutando de su compañía.

A Ion Pérez Baena, quien me inspiró en muchos momentos y animó a superarme en mis proyectos.

Al resto de profesores, por su colaboración en la ampliación de mis conocimientos.

Y a mi familia, por creer siempre en mí.

Gracias a todos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. El calentamiento global y el cambio climático.....	8
1.2. La producción de metano en las cabras	8
1.3. Estrategias nutricionales para la reducción de CH ₄	9
2. OBJETIVO	10
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
3.1. Localización	11
3.2. Instalaciones	11
3.3. Alimentación	12
3.4. Procedimiento experimental.....	14
3.5. Análisis químicos.....	16
3.6. Cálculo y análisis de datos	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. Experimento 1 ‘Naranja’:.....	18
4.2. Experimento 2 ‘Limón’:	24
5. CONCLUSIONES.....	27
6. BIBLIOGRAFÍA.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nave de producción de pequeños rumiantes.	11
Figura 2. Jaulas de digestibilidad.....	12
Figura 3. Equipo de gasimetría (I).....	12
Figura 4. Equipo de gasimetría (II).....	12
Figura 5. Toma de muestras de orina.. ..	14
Figura 6. Toma de muestras de heces.	14
Figura 7. Muestras de líquido ruminal obtenidas.	15
Figura 8. Equipo de calorimetría.	15

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ingredientes y composición química de los piensos Naranja y Control.....	13
Tabla 2. Ingredientes y composición química de las dietas Limón y Control.	13
Tabla 3. Peso corporal, ingesta y coeficientes de digestibilidad aparente de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10) según el tipo de dieta.	19
Tabla 4. Balance energético (kJ/kg de PV ^{0,75}) en cabras secas de raza Murciano-Granadina (n=10).....	20
Tabla 5. Balance de nitrógeno (g/kg de PV ^{0,75}) de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10) según el tipo de dieta.	21
Tabla 6. Emisión de CH ₄ de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10) según el tipo de dieta.....	22
Tabla 7. pH y AGV de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10) según el tipo de dieta.....	23
Tabla 8. Peso corporal, ingesta y coeficientes de digestibilidad aparente de cabras Murciano-Granadinas secas (n = 10) según el tipo de dieta.....	24
Tabla 9. Balance energético (kJ/kg de PV ^{0,75}) en cabras secas de raza Murciano-Granadina (n=10)	25
Tabla 10. Balance de nitrógeno (g/kg de PV ^{0,75}) de cabras Murciano-Granadina secas (n=10) según el tipo de dieta.	25
Tabla 11. Emisión de CH ₄ de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10) según el tipo de dieta.....	26
Tabla 12. pH y AGV de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10), según el tipo de dieta.....	26

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El calentamiento global y el cambio climático

La agricultura y la ganadería son dos fuentes importantes de producción de gases de efecto invernadero (metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O)) a la atmósfera. Es por ello que se están llevando a cabo diversas investigaciones para encontrar la manera de disminuir estas emisiones y prevenir el calentamiento global, protegiendo así el sistema climático natural del planeta (Bonilla *et al.*, 2012).

Para poder desarrollar estrategias que moderen las emisiones de CH₄ en el ganado, se utilizan distintas técnicas instrumentales y analíticas para cuantificar la producción de gases, siendo la calorimetría indirecta el método más utilizado (Bonilla *et al.*, 2012).

Por otro lado, los subproductos resultantes de la industria de alimentos terminan, en algunos casos, como residuos y en ocasiones son quemados en su mayoría o descargados en vertederos, perjudicando al medio ambiente y necesitando de la utilización de costosos programas de gestión residuos.

La Comunidad Valenciana, lugar en el que realizamos nuestro estudio, es una de las mayores áreas de producción de cítricos en España, siendo las hojas de limón y naranja una importante fuente de residuos en esta zona (Fernández *et al.*, 2018).

1.2. La producción de metano en las cabras

La síntesis de CH₄ en rumiantes ocurre de manera natural en el proceso digestivo, pero constituye una pérdida de energía y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y con ello, al calentamiento y al cambio climático global (Bonilla *et al.*, 2012). La composición de la dieta, la raza y el estrés ambiental son factores comunes que influyen negativamente en la función del rumen y en la emisión de CH₄. La producción de cabras posee un alto rendimiento pues produce una gran cantidad de leche respecto a su tamaño corporal. Hay especies de ganado cabras muy bien adaptadas a la sequía y a la escasez de alimentos y, dentro de los rumiantes, es de las especies menos CH₄ entérico (Pragna *et al.*, 2008).

Su capacidad para hacer frente y adaptarse al cambio climático depende de su capacidad para mantener el correcto funcionamiento del rumen y de los microorganismos ruminales. El estrés por calor que surge del cambio climático afecta a la fermentación ruminal de las cabras, reduciendo su rendimiento productivo e influyendo en los niveles de producción de CH₄. La ingesta de alimento y la digestibilidad se ven disminuidas y existe un deterioro de la calidad de los pastos (mala degradación de materia seca, menor contenido de proteínas y carbohidratos solubles y mayor contenido de pared celular), dando lugar a un

aumento de CH₄. El pH del rumen baja, la fermentación ruminal se reduce y la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen disminuye (Pragna *et al.*, 2008). La proporción del ácido propiónico respecto al ácido acético, es el factor de mayor impacto en la producción de CH₄ (Bonilla *et al.*, 2012). Por otro lado, el CO₂ espirado aumenta con la tasa de respiración. La raza es también factor determinante en la producción de CH₄ entérico, por su variación en el tamaño del cuerpo, la adaptación, el volumen del rumen y la variación en el consumo de alimento. Sin embargo, la composición del alimento es el factor principal que determina el patrón de fermentación ruminal y las emisiones de CH₄ entéricos (Pragna *et al.*, 2008).

1.3. Estrategias nutricionales para la reducción de CH₄

Entre las diversas estrategias existentes para la reducción de CH₄, Pragna *et al.* (2008) resaltan cómo la manipulación nutricional es la más efectiva y utilizada. Dentro de ella, encontramos que los concentrados contienen menos carbohidratos estructurales que los forrajes, por lo que la ingesta de concentrados puede aumentar la producción de propionato y disminuir la producción de acetato, reduciéndose el número de átomos de hidrógeno disponibles para las bacterias metanogénicas y dando como resultado una reducción de la producción de CH₄. Sin embargo, un exceso de alimentación concentrada puede causar acidosis y afectar negativamente los procesos normales de fermentación ruminal. Alimentar a los animales con forraje de alta calidad y de tamaño reducido puede disminuir la pérdida de energía de la dieta, aumentar la ingesta de alimento y reducir el tiempo de digestión en el rumen, estimulando así la digestión postruminal y menguando el porcentaje de energía transformada a CH₄. La cosecha o el pastoreo de forraje en las primeras etapas de madurez también reduce la lignificación de la pared celular de la planta, lo que aumenta la digestibilidad y disminuye la emisión de CH₄ por unidad de materia seca digestible.

Además, se ha visto que el uso de suplementos de grasa y aceite reducen las bacterias metanogénicas y la población de protozoos ciliados en el rumen, reduciendo la degradabilidad de la fibra y de la materia orgánica, disminuyendo así la disponibilidad del sustrato fermentable y consiguiendo de esta manera minimizar la producción de CH₄ entérico (Pragna *et al.*, 2008).

Algunos metabolitos secundarios de las plantas como las saponinas, los taninos y monómeros fenólicos pueden reducir la emisión de CH₄ entérica de los rumiantes debido a su capacidad para reducir la metanogénesis. Los taninos, por ejemplo, limitan indirectamente la metanogénesis al reducir la disponibilidad de átomos de hidrógeno (Bonilla *et al.*, 2012).

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo ha sido estudiar en dos estudios independientes el efecto de la incorporación de residuos de poda de cítricos (hoja de naranja y hoja de limón) y paja de arroz a una ración, sobre la ingestión, digestibilidad, balance energético, balance de carbono y nitrógeno y emisión de CH₄ cabras de raza Murciano-Granadina en mantenimiento.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Localización

Se llevó a cabo un experimento que constó de dos estudios independientes, formulándose una dieta diferente en cada uno para valorar el efecto de la misma en cabras Murciano-Granadinas en mantenimiento.

La primera parte del estudio se realizó en la granja experimental de pequeños rumiantes del Departamento de Ciencia Animal (DCA) de la Universitat Politècnica de València (UPV), la cual dispone de instalaciones para las pruebas de adaptación, digestibilidad e intercambio gaseoso. La segunda parte se desarrolló en los laboratorios del DCA, analizándose las muestras obtenidas durante toda la fase experimental.

3.2. Instalaciones

Para las distintas fases de experimentación que conllevan ambos estudios se utilizan las instalaciones de la granja experimental de la UPV, de manera independiente y en dos periodos de tiempo concretos.

Durante la adaptación al pienso la primera semana los animales de cada grupo se alojaron conjuntamente en corrales dentro de la nave de producción (Figura 1).



Figura 1. Nave de producción de pequeños rumiantes.

Por otro lado para el control, así como para la adaptación de la digestibilidad, las cabras se alojaron en jaulas metabólicas individuales de acero inoxidable cuyas dimensiones eran 53 x 96 x 143 cm (Figura 2). Cada jaula dispone de un bebedero automático de tipo cazoleta y un comedero extraíble asegurado con una goma. El suelo de la jaula presenta una rejilla metálica que permite separar y recoger las heces y orina a diario de cada animal individualmente.



Figura 2. Jaulas de digestibilidad.

Una vez terminada la fase de digestibilidad se evaluó del intercambio gaseoso. Para ello se emplean jaulas similares a las de digestibilidad, pero en este caso la zona del comedero y bebedero están cubiertas por una campana extractora de gases que permite valorar el intercambio gaseoso del animal con un equipo móvil de calorimetría indirecta (Figuras 3 y 4).



Figura 3. Equipo de gasimetría (I)



Figura 4. Equipo de gasimetría (II)

3.3. Alimentación

Se diseñaron tres tipos de pienso (Naranja, Limón y Control) con el objetivo de reutilizar y reciclar subproductos fibrosos como la paja de arroz y las hojas de cítricos que de normal se queman y contaminan y emiten gases de efecto invernadero. Estos residuos agrícolas se incorporaron en la formulación de las dietas (estudio 1: Tabla 1 y estudio 2: Tabla 2) cubriendo las necesidades nutricionales de las cabras en el periodo de mantenimiento. Todos los piensos del estudio se elaboraron por Heliotec S.L. (Vall

D'Uixó) en forma de pellet. Durante ambos experimentos las cabras no se alimentaron con ningún tipo de forraje.

Tabla 1. Ingredientes y composición química de los piensos Naranja y Control.

Parámetros	Dietas	
Ingredientes % de MS¹	Control	Naranja
Hoja naranja	0	48
Paja arroz	0	20
Pulpa de remolacha	45	0
Paja cereal	27	0
Harina girasol 28	20	24
Melaza de caña	7	5
Sepiolita (EXAL)	0	2
Carbonato cálcico	1	1
Cloruro sódico	0	0
Composición Química % de MS		
Materia seca	96	96
Ceniza	6	16
Proteína bruta	12	14
Extracto etéreo	1	1
Fibra neutro detergente	50	44
Fibra ácido detergente	31	29
Lignina ácido detergente	5	7
Hemicelulosa	19	15
Celulosa	26	23
Carbono	45	42
Nitrógeno	2	2

¹MS: materia seca.

Tabla 2. Ingredientes y composición química de las dietas Limón y Control.

Parámetros	Dietas	
Ingredientes % de MS¹	Control	Limón
Hoja limón	0	48
Paja arroz	0	20
Pulpa de remolacha	45	0
Paja cereal	27	0
Harina girasol 28	20	24
Melaza de caña	7	5
Sepiolita (EXAL)	0	2
Carbonato cálcico	0,7	0,5
Cloruro sódico	0,3	0,3
Composición Química % de MS		
Materia seca	96	97
Ceniza	6	13
Proteína bruta	12	14
Extracto etéreo	1	1
Fibra neutro detergente	50	41
Fibra ácido detergente	31	27
Lignina ácido detergente	5	5
Hemicelulosa	19	14
Celulosa	26	22
Carbono	45	43
Nitrógeno	2	2

¹MS: materia seca.

3.4. Procedimiento experimental

Tanto para el primer experimento como para el segundo, se seleccionaron catorce cabras en mantenimiento de la raza Murciano-Granadina de la granja experimental de la UPV. Estas se repartieron en dos grupos homogéneos según peso y edad (n=7). A cada uno de los grupos se le administró una dieta específica basada en paja de arroz y hojas de naranja (experimento 1: Control y Naranja) y otra recién elaborada con paja de arroz y hojas de limón (experimento 2: Control y Limón).

3.1.1 Periodo de Adaptación a dietas

Durante este periodo las cabras se alimentaron por primera vez con las dietas en los corrales de la nave de producción, donde permanecieron durante 15 días separadas en dos grupos.

3.1.2 Periodo de Adaptación a Jaulas de Digestibilidad

De cada grupo se seleccionaron 5 cabras para llevarlas a las jaulas metabólicas, manteniéndose a los otros dos animales restantes de cada grupo de reserva en los corrales por si se presenta alguna falta de adaptación durante la fase experimental. Durante 7 días se vigiló el consumo de las dietas, así como el alimento rehusado y la calidad de las heces.

3.1.3 Periodo de Digestibilidad

Se llevó a cabo la digestibilidad de las dietas durante cinco días, realizando un muestreo durante 4 días consecutivos. Se tomaron muestras de orina (Figura 4) y heces (Figura 5) a cada cabra de manera individual. A las jaulas metabólicas se les acoplaron unas botellas de plástico para la recogida de la orina, las cuales llevaban también un filtro para eliminar impurezas. Las muestras del estudio se almacenaron a -40°C para los posteriores análisis en el laboratorio.



Figura 5. Toma de muestras de orina.



Figura 6. Toma de muestras de heces.

Después de la toma de muestras durante 4 días consecutivos en las jaulas de digestibilidad, se bajaron a las cabras y se llevaron nuevamente al corral, donde se les extrajo líquido ruminal de manera individual para mandar a analizar (Figura 6).

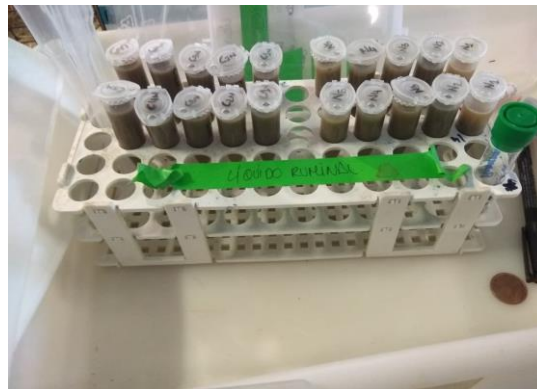


Figura 7. Muestras de líquido ruminal obtenidas.

3.1.4 Periodo de Medición de Gases

Se realizó una medición del intercambio gaseoso producido en las cabras de manera individual. Se utilizó para ello un equipo de calorimetría indirecta de circuito abierto diseñado en la UPV (Figura 7) que medía el consumo de Oxígeno (O_2) y la producción de CO_2 y de CH_4 . Estos datos eran registrados cada dos minutos. Un detalle exhaustivo del diseño y funcionamiento del equipo se encuentra en las publicaciones de Fernández et al. (2012; 2015). Permanecieron allí durante 24 horas y posteriormente regresaron a la nave de producción.



Figura 8. Equipo de calorimetría.

3.5. Análisis químicos

Las muestras obtenidas durante el periodo de digestibilidad se analizaron en el DCA, llevándose a cabo los métodos oficiales de análisis de AOAC (2000) para analizar los piensos Naranja, Limón y Control, las heces, la orina y el líquido ruminal.

De los piensos, las heces y la orina se calculó la materia seca (MS), la humedad, las cenizas, la proteína bruta (PB), las fibras, la grasa bruta (GB), los ácidos grasos totales (AGT) y la concentración de energía. Del líquido ruminal se calculó el pH y los ácidos grasos volátiles (AGV).

La MS de las heces y la orina se calculó mediante el uso de una estufa de desecación, donde estuvieron 24 horas a 105°C.

La PB se calculó por el método DUMAS con la utilización del analizador elemental LECO CN628 (AOAC 990.03, 2002; UNE-EN ISO, 2009). Este mismo equipo se utilizó para determinar posteriormente el carbono.

Las fibras se determinaron por el método Van Soest (AOAC 973.18, 2000; Mertens, 2002) utilizando el aparato de digestión-ANKOM 200/220 analizador de fibra, pudiendo así estimar los distintos hidratos de carbono estructurales y sustancias indigestibles ligadas que componen la pared celular vegetal. Se calculó la Fibra Neutro-Detergente (FND), la Fibra Ácido-Detergente (FAD) y la fracción Ácido Detergente-Lignina (LAD), pudiéndose así estimarse la cantidad de hemicelulosa, celulosa y lignina.

La GB se determinó mediante el sistema Soxtec (AOAC 920.39, 2000; ISO, 1999) utilizando para ello una unidad de hidrólisis FosHotplste 2022 y una unidad de extracción de Soxtec.

Mediante cromatografía de gases (Jouany. J.P., 1982) se calcularon los AGT de los piensos Naranja, Limón y Control y los AGV del líquido ruminal, del cual se calculó también el pH con un medidor de pH portátil (Orion Research, Inc., Beverly, MA, USA).

La concentración de energía de las dietas, materia fecal y orina se determinó utilizando una bomba calorimétrica adiabática (Gallenkamp Autobomb) en un laboratorio externo.

3.6. Cálculo y análisis de datos

La cantidad de alimento que ingiere el animal que no es excretado por las heces constituye la digestibilidad del alimento y se expresa como coeficiente de digestibilidad.

$$CD \% = \frac{\text{Alimento ingerido} - \text{Alimento excretado}}{\text{Alimento ingerido}}$$

Una vez conocemos la Energía Digerida del alimento ingerido (EDi), la Energía Metabolizable ingerida (EMi) de dicho alimento se calcula como la diferencia entre la Energía Bruta ingerida (EBi) y la energía excretada en forma de heces (Eh), orina (Eo) y CH₄. Para ello se utiliza un factor de conversión de energía con valor de 55 kJ/g CH₄ (Brouwer, 1965).

$$EMi = EBi - (Eh + Eo + ECH_4)$$

Seguidamente se calcula mediante la ecuación de Brouwer (1965) la producción de calor (PC) a partir del consumo de O₂ y las producciones de CO₂ y CH₄ determinadas con el equipo de calorimetría indirecta y el nitrógeno disponible en la orina. La PC nos permite conocer el coste energético que supone el mantenimiento de la vida de los animales.

$$PC \text{ (kJ/d)} = 16,8 \times O_2 \text{ (L/d)} + 5,02 \times CO_2 \text{ (L/d)} - 2,17 \times CH_4 \text{ (L/d)} - 5,99 \times N \text{ orina (g/d)}$$

Para obtener el balance de Carbono y Nitrógeno se calculó por un lado el Nitrógeno retenido (Nr), el cual se obtuvo de la diferencia del Nitrógeno ingerido (Ni) y el Nitrógeno excretado en heces (Nh) y por orina (No). Por otro lado, se calculó el Carbono retenido (Cr) a partir de la diferencia del Carbono ingerido (Ci) y el Carbono excretado en heces (Ch), por la orina (Co), como gas metano (CCH₄) y dióxido de carbono (CCO₂).

$$Nr = Ni - (Nh + No)$$

$$Cr = Ci - (Ch + Co + CCH_4 + CCO_2)$$

La energía retenida se calcularía calculando la diferencia entre la Energía Metabolizable Ingerido (EMi) y la Producción de Calor (PC).

$$ER = EMI - PC$$

El análisis de los datos obtenidos se realizó un modelo lineal general (GLM), donde la dieta fue el efecto fijo. El programa estadístico utilizado fue el SAS (2010). Las pruebas de ambos estudios están categorizadas como independientes en el Proyecto LIFE16 LOWCARBON FEED y por tanto los análisis se han realizado para cada experimento por separado, es decir, no se han juntado los datos de los dos experimentos para realizar un análisis estadístico conjunto.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento 1 ‘Naranja’

En cuanto a la digestibilidad obtenida en ambas dietas (Tabla 3) recordamos que la cantidad de pienso ofrecido en ambos casos fue de 2 kg, pero cabe destacar que la cantidad de pienso Control ingerido fue de 1,4kg mientras que para el pienso Naranja era de 1,7kg, es decir, el consumo de MS de la dieta Control fue significativamente inferior a la dieta Naranja. Respecto a los coeficientes de digestibilidad, fueron superiores ($P < 0,05$) en la dieta Control para MS, MO, fracciones fibrosas y energía respecto a la dieta Naranja. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en los coeficientes de digestibilidad de la PB ni de la grasa bruta.

En un estudio realizado por Rapetti *et al.* (2004) se evaluó en seis cabras Saanen lactantes la ingestión y digestibilidad de tres dietas, una a base de hierba (G), otra a base de heno (H) y otra dieta sin forraje (NF). La dieta NF resultó ser más eficaz a la hora de estimular la actividad de masticación pese a que el tiempo que pasaban los animales comiendo era menor, aunque no se vieron diferencias significativas en cuanto a la ingesta del alimento entre las distintas dietas. Sí se vio una diferencia significativa en cuanto a la digestibilidad, siendo más digestible la dieta NF que tenía entre sus ingredientes pulpa de remolacha, la cual hemos utilizado para nuestro estudio en la dieta Control.

En nuestro estudio no utilizamos forraje largo en ninguna dieta, el forraje que en este caso era paja de arroz y residuos de cítricos, eran el forraje y aun así, encontramos diferencias significativas en cuanto a la ingestión de alimento. Esta diferencia se cree que es debida a la diferencia entre ingredientes de las dietas experimentales, las de Cítricos que presentan una fuente de carbohidrato distinta de la dieta Control, siendo el carbohidrato de la dieta Naranja a base de paja de arroz y hoja de naranja y en el Control de paja de cereal y pulpa de remolacha. Aunque se esperaba una menor ingestión de las dietas con paja de arroz frente a las que llevan paja de cereal, éstas diferencias no se observaron debido a que la paja iba triturada y peletizada con el resto de los forrajes. Aun así, las dietas con paja de arroz son ricas en material fibroso de escasa digestibilidad y cenizas, dando como resultado una mejor digestibilidad para la dieta Control, como se reflejaba también en el estudio descrito anteriormente. Por tanto, la molienda y trituración de los ingredientes para peletizar la dieta ha causado una mayor ingesta de alimento por parte del grupo Naranja, que necesitaba comer más para llegar al mismo umbral de nutrientes que el grupo Control. La fuente de proteína si era idéntica en ambas dietas (harina de girasol).

Tabla 3. Peso corporal, ingesta y coeficientes de digestibilidad aparente de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10) según el tipo de dieta.

Parámetros ¹	Dieta			
	Control	Naranja	SEM ²	P-valor
PV	46,6	41,5	0,944	0,0044
Total MSI, kg/d	1,41	1,74	0,273	0,0001
MS	67	46	2,080	0,0001
MO	69	51	1,845	0,0001
PB	59	62	0,938	0,2073
GB	45	46	1,423	0,7261
FND	59	37	2,302	0,0001
FAD	58	36	2,306	0,0001
LAD	25	21	1,943	0,2710
HEMICEL	62	40	2,263	0,0001
CEL	64	41	2,366	0,0001
CNF	89	67	1,898	0,0001
EB	68	50	1,830	0,0001

¹Parámetros: PV = peso vivo; MSI = materia seca ingerida; MS = materia seca; MO = materia orgánica; PB = proteína bruta; GB = grasa bruta; FND = fibra neutro detergente; FAD = fibra ácido detergente; LAD = lignina ácido detergente; HEMICEL = hemicelulosa; CEL = celulosa; CNF= carbohidratos no fibrosos; EB = energía bruta.

²SEM: error estándar de la media.

En cuanto al balance energético, se observa en la Tabla 4 que fue positivo en ambas dietas, es decir, que para ambos tratamientos las cabras acumulaban energía y no se observó ningún déficit energético. Como la ingestión de MS fue inferior en la dieta Control, el consumo de energía también fue inferior en la dieta Control. Como vimos en la Tabla 3, la digestibilidad fue en general inferior para la dieta Naranja, por tanto, observamos que las pérdidas de energía en heces y orina fue significativamente superior en la dieta Naranja frente a la dieta Control. No se observaron diferencias en cuanto a la energía perdida en CH₄, pero si una menor ingestión ($P < 0,05$) de energía metabolizable en la dieta Naranja frente a la Control (199 kJ/kg de PV^{0,75}). Dado que la producción de calor fue similar en ambos tratamientos (482 kJ/kg de PV^{0,75}, de media), la cantidad de energía retenida en la dieta Control fue significativamente superior a la dieta Naranja (del orden de 224 kJ/kg de PV^{0,75}).

En un estudio realizado por Criscioni y Fernández (2016) se compararon dos dietas en donde se sustituyó grano de avena (O) por salvado de arroz (RB) formuladas de manera isoproteica e isoenergética con la adición de grasa by pass a la dieta con salvado de arroz. Se evaluó en diez cabras Murciano-Granadina, aunque en este caso las cabras se encontraban en estado de lactancia tardía. No se encontraron diferencias significativas en cuanto a la ingesta de energía metabolizable ingerida ni en pérdidas de energía en heces y orina en este estudio, sí encontrándose estas diferencias en el nuestro de manera significativa.

En nuestro experimento en cambio, aunque con ambas dietas el balance energético fue positivo, la dieta Control ha aprovechado la ración con mayor eficiencia energética y la cantidad de energía retenida con respecto a la EM ingerida ha sido de un 44% para la dieta Control y un 23% para la dieta Naranja. Como hemos comentado, las principales

diferencias entre las dietas eran la sustitución de pulpa de remolacha por hoja de naranja y la sustitución de paja de cereal por paja de arroz. La pulpa de remolacha y la hoja de naranja tienen un valor nutritivo similar, a excepción de PB y EE que es superior en la hoja de naranja. Sin embargo, la paja de arroz tiene un valor nutritivo inferior a la paja de cereal y además la apetencia por la paja de arroz es menor. Por tanto, el menor aprovechamiento de la dieta con hoja de naranja puede ser debido a un pobre valor nutritivo de la paja de arroz (alto contenido en fibra, sílice y en innumerables ocasiones una humedad alta y olor desagradable).

Tabla 4. Balance energético (kJ/kg de PV^{0,75}) en cabras secas de raza Murciano-Granadina (n = 10).

Dieta				
Parámetros ¹	Control	Naranja	SEM ²	P-valor
EBI	1406	1654	46,368	0,0060
Eh	447	824	38,495	0,0001
ED	959	830	31,281	0,0385
Eo	51	124	7,386	0,0001
E _{CH₄}	69	66	2,028	0,2239
EMI	839	640	36,003	0,0043
PC	469	494	8,771	0,1653
ER	370	146	36,520	0,0013

¹Parámetros: EBI = energía bruta ingerida; Eh = energía perdida en heces; ED = energía digestible; Eo = energía perdida en orina; E_{CH₄} = energía perdida en CH₄; EMI = energía metabolizable ingerida; PC = producción de calor; ER = energía retenida.

²SEM: error estándar de la media.

El balance de nitrógeno está expresado en g por kg de peso metabólico (Tabla 5). El nitrógeno ingerido fue significativamente superior en la dieta Naranja frente a la Control (0,8 g/kg de PV^{0,75}), debido al mayor contenido en PB de la dieta Naranja (14 vs. 12%). Sin embargo, como hemos visto en los apartados anteriores, la digestibilidad fue inferior en la dieta Naranja y por tanto la excreción de nitrógeno en heces y orina por parte de la dieta Naranja también fue significativamente superior (2,12 vs 1,27 g/kg de PV^{0,75}, para la dieta Naranja y Control respectivamente). Esta mayor excreción de nitrógeno con la dieta Naranja significa una mayor pérdida de nitrógeno alimentario y por lo tanto una menor eficiencia. Así la eficiencia de utilización del nitrógeno de la dieta en nitrógeno retenido fue de un 10% para la dieta Naranja y de un 19% para la dieta Control.

Un estudio realizado por Bava L. *et al.* (2001) valoró en ocho cabras Saanen en lactación la utilización de la energía proveniente de dos dietas, una Control basada en el ensilado (C) y otra sin forraje (NF), y como afectaba al rendimiento productivo. La dieta sin forraje (NF) utilizada en su estudio tenía mayor contenido proteico y por ende de nitrógeno proteico que la dieta de ensilado (C). Al igual que en nuestro experimento, pese a que las cabras del grupo NF ingirieron mayor cantidad de nitrógeno con el alimento eliminaron también una mayor cantidad de nitrógeno en orina y heces que los animales alimentados con la dieta C, debido nuevamente a una mala digestión del alimento. Esto

ocasionó una cantidad de nitrógeno retenido similar en ambos tratamientos, lo mismo que ocurrió en nuestro experimento.

Tabla 5. Balance de nitrógeno (g/kg de PV^{0,75}) de cabras Murciano-Granadinas secas (n = 10) según el tipo de dieta.

Parámetros ¹	Dieta			
	Control	Naranja	SEM ²	P-valor
Ni	1,56	2,36	0,085	0,0001
Nh	0,64	0,90	0,032	0,0001
No	0,63	1,22	0,085	0,0001
Ne	1,27	2,12	0,100	0,0001
Nr	0,30	0,24	0,067	0,123

¹Parámetros: Ni = nitrógeno ingerido; Nh = nitrógeno perdido en heces; No = nitrógeno perdido en orina; Ne = Nitrógeno excretado, Nr = nitrógeno retenido.

²SEM: error estándar de la media.

En la Tabla 6 se observa como la cantidad de CH₄ emitido por los animales de la dieta Control es mayor que en la dieta Naranja (P < 0,05). Es decir, la dieta Naranja emite un 10% menos de CH₄ que la dieta Control. El factor de conversión de CH₄ es la relación entre la cantidad de energía perdida en forma de CH₄ respecto a la energía ingerido (Y_m), y se observa que las diferencias entre las dietas se mantienen. La menor producción de CH₄ para la dieta Naranja también se mantiene cuando expresamos la emisión de CH₄ respecto a la MS ingerida, MO ingerida y fracciones fibrosas ingeridas.

En el estudio realizado por Criscioni y Fernández. (2016) descrito anteriormente, la emisión de CH₄ entérico a partir de calorimetría indirecta móvil de circuito abierto, al igual que hemos utilizado nuestro estudio, resultó también una menor emisión de CH₄ para la dieta de salvado de arroz (23,2 vs. 30,1 g/d, para O y RB respectivamente) debido en este caso al aumento de lípidos en la dieta. Aunque en el trabajo de Criscioni y Fernández (2016) se utiliza un residuo de la industria del arroz, concretamente del pulido del arroz, dicho residuo tiene características nutritivas muy diferentes a la paja de arroz. En nuestro estudio la reducción en las emisiones de CH₄ se debe a la combinación de la paja de arroz con los cítricos y no solo debido a la paja de arroz.

Martin *et al.* (2009) realizaron un estudio en el cual tenían por objetivo actualizar las distintas estrategias ya probadas para disminuir las emisiones de CH₄ de los rumiantes, sin alterar la producción animal. Entre dichas estrategias estudiaron las nutricionales, donde compararon el efecto que tenía el utilizar un tipo u otro de forraje o concentrado sobre la producción de CH₄. Cuando estudiaron el efecto de la preservación y el procesamiento de los forrajes sobre la producción de CH₄ entérico, la tendencia era que la metanogénesis era menor cuando los forrajes terminaban siendo secados, molidos y pelletizados. Los forrajes que hemos utilizado en nuestro experimento (paja de cereal, paja de arroz y residuos de cítricos) fueron pelletizados y ello pudo haberse visto reflejado en el efecto positivo que obtuvimos en la reducción de CH₄. Aunque nuestra tendencia

coincide con los resultados discutidos por Martin *et al.* (2009), la dieta Control también tenía la pulpa de remolacha y la paja de arroz peletizada.

También en el estudio de Martin *et al.* (2009) se observó que el uso de un concentrado rico en almidón (trigo, cebada, maíz) tenía un efecto negativo mayor en la producción de CH₄ que utilizando un concentrado fibroso como era la pulpa de remolacha, la cual utilizamos en nuestro estudio como una de las principales fuentes de energía de la dieta Control. En nuestro estudio, al ser dietas para el mantenimiento no se contempló la utilización de cereal y por tanto almidones. Ya que en ambas dietas se utilizaron paja de cereal frente a paja de arroz y pulpa de remolacha frente a hoja de cítricos, se observa que el procesamiento (peletizado) disminuyó las emisiones por un lado. Por otro lado, y como hemos comentado, la calidad de la paja de arroz que suele llevar un contenido importante de minerales arrastrados del suelo (por tanto, alta concentración de cenizas que disminuye el consumo) y las hojas de cítricos que son ricas en aceites esenciales frente a la pulpa de remolacha que es ausente, serían las causas de esa reducción de CH₄. Martin *et al.* (2009) también indica que los aceites esenciales son otra de las formas de reducción en las emisiones de metano, debido a su efecto tóxico sobre las Arkaeas metanogénicas.

Por tanto, la interacción de la paja de arroz con las hojas de cítricos utilizadas tanto en la dieta Naranja como en la dieta Limón, redujeron la emisión de metano, siendo en el caso de la Naranja un 10% menor esta emisión de CH₄.

Tabla 6. Emisión de CH₄ de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10) según el tipo de dieta.

Dieta				
Parámetros ¹	Control	Naranja	SEM ²	P-valor
CH ₄ , g/d	22,3	20,0	0,482	0,0146
Y _m	4,9	4,0	0,012	0,0113
CH ₄ /MSi, g/kg	16,0	11,6	0,577	0,0001
CH ₄ /MOi, g/kg	17,1	13,8	0,564	0,0025
CH ₄ /FNDi, g/kg	32,4	26,7	1,055	0,0267
CH ₄ /, FADi g/kg	52,1	40,0	1,788	0,0003

¹Parámetros: Y_m = energía de CH₄ / ingesta bruta de energía; MSi = materia seca ingerida; MOi = materia orgánica ingerida; FNDi = fibra neutro detergente ingerida; FADi = fibra ácido detergente digerida.

²SEM: error estándar de la media.

En la Tabla 7 se observa que los valores de pH ruminal obtenidos no muestran diferencias significativas para ambas dietas. Del análisis de ácidos grasos volátiles del rumen sólo el ácido isobutírico y el ácido isovalérico se encuentran en mayor cantidad en la dieta Naranja que en la dieta Control, probablemente asociado a los aceites esenciales de la hoja de naranja. La cantidad de propiónico si resultó significativamente mayor en el grupo Control, pero en general, no se observan diferencias en cuanto a parámetros ruminales entre ambas dietas.

Tabla 7. pH y AGV de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10) según el tipo de dieta.

Dieta				
Parámetros ¹	Control	Naranja	SEM ²	P-valor
PH	5,9	6,9	0,048	0,2155
Total AGV, mM	54,18	48,40	3,107	0,6212
Acético	32,72	31,87	1,731	0,8214
Propiónico	11,76	8,14	0,865	0,0245
Ácido isobutírico	0,30	0,66	0,065	0,0001
Ácido butírico	8,30	5,93	0,748	0,1169
Ácido isovalérico	0,24	0,79	0,103	0,0004
Ácido N-Valérico	0,79	0,90	0,058	0,3376
Ácido N-Caproico	0,08	0,10	0,012	0,5665
Ácido heptanoico	0,000	0,002	0,001	0,1479

¹Parámetros: AGV = ácidos grasos volátiles.

²SEM: error estándar de la media.

Experimento 2 ‘Limón’

Toda la tendencia observada en el experimento 1 se cumple para el experimento 2.

En cuanto a la digestibilidad de ambas dietas (Tabla 8) el consumo de MS de la dieta Control también resultó menor respecto a la dieta Limón, siendo nuevamente más digestible la dieta Control. Sin embargo, los coeficientes de digestibilidad de la PB y de la grasa bruta fueron superiores ($P < 0,05$) en la dieta Limón.

Tabla 8. Peso corporal, ingesta y coeficientes de digestibilidad aparente de cabras Murciano-Granadinas secas ($n = 10$) según el tipo de dieta.

Dieta				
Parámetros ¹	Control	Limón	SEM ²	P-valor
PV	51,4	48,0	0,790	0,0305
Total MSI, kg/d	1,39	1,59	0,057	0,0832
MS	66	53	1,225	0,0001
MO	68	58	0,987	0,0001
PB	57	65	0,855	0,0001
GB	38	62	2,237	0,0001
FND	58	38	1,917	0,0001
FAD	57	38	1,857	0,0001
LAD	20	3	2,309	0,0001
HEMICEL	60	38	2,029	0,0001
CEL	63	46	1,692	0,0001
CNF	89	82	0,821	0,0001
EB	67	57	0,976	0,0001

¹Parámetros: PV = peso vivo; MSI = materia seca ingerida; MS = materia seca; MO = materia orgánica; PB = proteína bruta; GB = grasa bruta; FND = fibra neutro detergente; FAD = fibra ácido detergente; LAD = lignina ácido detergente; HEMICEL = hemicelulosa; CEL = celulosa; CNF= carbohidratos no fibrosos; EB = energía bruta.

²SEM: error estándar de la media.

El balance energético que se observa en la Tabla 9 fue en este experimento positivo también para ambas dietas, siendo las pérdidas de energía en heces y orina también significativamente superiores en la dieta Limón frente a la dieta Control, con una producción de calor similar en ambos tratamientos (439 kJ/kg de PV^{0,75}, de media) y una cantidad de energía retenida en la dieta Control significativamente superior a la dieta Limón (del orden de 170 kJ/kg de PV^{0,75}). La cantidad de energía retenida con respecto a la EM ingerida fue de un 45% para la dieta Control y un 26% para la dieta Limón, observándose una menor ingestión de energía metabolizable en la dieta Limón frente a la Control (110 kJ/kg de PV^{0,75}). En este experimento el grupo Control ha aprovechado la ración con mayor eficiencia energética frente al Limón, pudiendo ser debido nuevamente al menor aprovechamiento de la dieta con hoja de limón por el pobre valor nutritivo de la paja de arroz.

Tabla 9. Balance energético (kJ/kg de PV^{0,75}) en cabras secas de raza Murciano-Granadina (n=10)

Dieta				
Parámetros ¹	Control	Limón	SEM ²	P-valor
EBI	1273	1433	53,958	0,1420
Eh	422	603	25,383	0,0001
ED	851	830	33,557	0,7582
Eo	36	126	9,111	0,0001
E _{CH₄}	69	69	2,028	0,8747
EMI	745	635	32,592	0,0925
PC	409	469	10,220	0,0021
ER	336	166	35,856	0,0156

¹Parámetros: EBI = energía bruta ingerida; Eh = energía perdida en heces; ED = energía digestible; Eo = energía perdida en orina; E_{CH₄}= energía perdida en CH₄; EMI= energía metabolizable ingerida; PC = producción de calor; ER= energía retenida.

²SEM: error estándar de la media.

En el balance de nitrógeno que se muestra en la Tabla 10, el nitrógeno ingerido fue también en este experimento significativamente superior en la dieta Limón frente a la Control (0,8 g/kg de PV^{0,75}) debido a su mayor contenido en PB (14 vs. 12%). La falta de digestibilidad de la dieta Limón supuso también una excreción de nitrógeno en heces y orina significativamente superior en la dieta Limón (2,09 vs 1,07 g/kg de PV^{0,75}, para la dieta Limón y Control respectivamente), siendo la eficiencia de utilización del nitrógeno de la dieta en nitrógeno retenido de menos 3% para la dieta Limón y de un 25% para la dieta Control.

Tabla 10. Balance de nitrógeno (g/kg de PV^{0,75}) de cabras Murciano-Granadina secas (n=10) según el tipo de dieta.

Dieta				
Parámetros ¹	Control	Limón	SEM ²	P-valor
Ni	1,43	2,02	0,086	0,0002
Nh	0,61	0,69	0,024	0,0665
No	0,46	1,40	0,106	0,0001
Ne	1,07	2,09	0,114	0,0001
Nr	0,36	-0,07	0,074	0,0001

¹Parámetros: Ni = nitrógeno ingerido; Nh = nitrógeno perdido en heces; No = nitrógeno perdido en orina; Ne = Nitrógeno excretado, Nr = nitrógeno retenido.

²SEM: error estándar de la media.

En la Tabla 11 se observa como la cantidad de CH₄ emitido por los animales de la dieta Control es mayor que en la dieta Limón, aunque en este experimento las diferencias no fueron significativas (P > 0,05). La emisión fue un 8% menos de CH₄ en la dieta Limón. Las únicas diferencias significativas las hemos encontrado para el Y_m, siendo para la dieta limón 4,8 frente a 5,5 en control.

Tabla 11. Emisión de CH₄ de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10) según el tipo de dieta.

Dieta				
Parámetros ¹	Control	Limón	SEM ²	P-valor
CH ₄ , g/d	24,5	22,6	0,637	0,3118
Ym	5,5	4,8	0,100	0,0350
CH ₄ /MSi, g/kg	17,5	15,9	1,031	0,4597
CH ₄ /MOi, g/kg	18,7	18,4	1,158	0,8973
CH ₄ /FNDi, g/kg	35,3	39,0	2,423	0,4658
CH ₄ /, FADi g/kg	56,9	58,6	3,664	0,8192

¹Parámetros: Ym = energía de CH₄ / ingesta bruta de energía; MSi = materia seca ingerida; MOi = materia orgánica ingerida; FNDi = fibra neutro detergente ingerida; FADi = fibra ácido detergente digerida.

²SEM: error estándar de la media.

Los valores de pH ruminal y el análisis de ácidos grasos volátiles del rumen que se observan en la tabla 12 tan sólo muestran diferencias significativas para el ácido N-Valérico, siendo menor en la dieta Control. Por lo general, no se observan diferencias entre ambas dietas.

Tabla 12. pH y AGV de cabras Murciano-Granadinas secas (n=10), según el tipo de dieta.

Dieta				
Parámetros ¹	Control	Limón	SEM ²	P-valor
PH	6,7	6,9	0,051	0,6258
Total AGV, mM	23,34	30,51	3,794	0,3755
Acético	14,23	20,16	2,714	0,3051
Propiónico	4,35	4,66	0,583	0,8095
Ácido isobutírico	0,36	0,46	0,030	0,1325
Ácido butírico	3,45	3,73	0,440	0,7667
Ácido isovalérico	0,50	0,59	0,048	0,3670
Ácido N-Valérico	0,33	0,87	0,134	0,0359
Ácido N-Caproico	0,06	0,04	0,012	0,3171
Ácido heptanoico	0,001	0,001	0,001	0,8488

¹Parámetros: AGV = ácidos grasos volátiles.

²SEM: error estándar de la media.

Por tanto, hemos observado que es posible la utilización de residuos de la industria arrocera y de los cítricos, residuos de bajo valor nutritivo, en la alimentación de ganado caprino en mantenimiento. No se ha observado un balance energético ni proteico negativo. Con respecto a las emisiones de CH₄ se han reducido con la utilización de las dietas experimentales, pero existe una gran variación entre ingredientes y la interacción entre ellos según el estado fisiológico de los animales.

5. CONCLUSIONES

- La cantidad de alimento ingerido en las dietas Control fue menor que en las dietas de cítricos, siendo mayor su digestibilidad y energía metabolizable ingerida.
- La energía retenida fue por tanto más alta en las dietas Control que en las dietas de cítricos, pero la eficiencia energética para el mantenimiento de las cabras fue positiva en estas dietas (146 kJ/kg de PV^{0.75} en la dieta Naranja y de 166 kJ/kg de PV^{0.75} en la dieta Limón).
- La cantidad de carbono y nitrógeno excretado en heces y orina resultó mayor en las dietas de cítricos que en las dietas Control. Esto podría deberse a su menor digestión.
- La cantidad de CH₄ emitido por las cabras en gramos por día resultó un 2,3% menor en la dieta Naranja que en la dieta Control, y un 1,9% menor en la dieta Limón que en la dieta Control.
- Estos dos estudios concluyen que los residuos de cítricos de limón y de naranja y paja de arroz se podrían utilizar para alimentar al ganado en periodo de mantenimiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

AOAC 2000. Official method 920.39. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemist, 18th edition. Association of Official Analytical Chemist Arlington, VA, EEUU.

AOAC 2002. Official method 990.03: Protein (crude) in animal feed. Combustion method. In: Official methods of analysis of AOAC International. AOAC international, Washington, DC, EEUU.

AOAC 2000. Official method 973. 18. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemist, 18th edition. Association of Official Analytical Chemist, Arlington, VA, EEUU.

Bava L., Rapetti L., Crovetto G. M., Tamburini A., Sandrucci A., Galassi G., Succi G. 2001. Effect of a non forage diet on milk producon, energy and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. *Journal of Dairy Science* 2001, 84, 2450-2459.

Bonilla J. A., Lemus C. 2012. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 3(2):215-246.

Brouwer, E. 1965. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. Proceedings of the 3rd EAAP Symposium on Energy Metabolism. London, Academic Press: 441-443.

Criscioni P. and Fernández C. 2016. Effect of rice bran as a replacement for oat grain in energy and nitrogen balance, methane emissions, and milk performance of murciano-granadina goats. *Journal of Dairy Science* 99:280–290.

Fernández C., López M. C. and Lachica M. 2012. Description and function of a mobile open-circuit respirometry system to measure gas exchange in small ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 172: 242-246.

Fernández C., López M. C. and Lachica M. 2015. Low cost open-circuit hood system for measuring gs exchange in small ruminants: from manual to automatic recording. *The Journal of Agricultural Science*, 153: 102-109.

Fernández C., Martí J. V., Pérez I., Palomares J. L., Ibáñez C. and Segarra J. V. 2018. Effect of lemon leaves on energy and C–N balances, methane emission, and milk performance in Murciano-Granadina dairy goats. *Journal of Animal Science* 96:1508-1518.

ISO 1999. Animal feeding stuffs – Determination of fat content. Reference number 6492.

Jouany J.P. 1982. Volatile fatty acid and alcohol determination in digestive contents, silage juices, bacterial cultures and anaerobic fermentor contents. *Sciences des Aliments*, 2: 131-144.

Martin C., Morgavi D., Doreau M., 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4:351-365.

Mertens D.R. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study The Journal of Association of Official Analytical Chemists 85: 1217-1240.

P. Pragna, S. Chauhan, V. Sejian, B. J. Leury, F. R. Dunshea, 2018. Climate Change and Goat Production: Enteric Methane Emission and Its Mitigation. Animals 8(12): 235.

Rapetti, L., Bava, L., Tamburini A., Matteo G. 2004. Feeding Behaviour, Digestibility, Energy Balance and Productive Performance of Lactating Goats fed Forage-Based and Forage-Free Diets. Italian Journal Animal Science, 4: 71-83.

UNE-EN ISO 16634-1:2009. Productos alimenticios. Determinación del contenido en nitrógeno total por combustión de acuerdo con el principio Dumas y cálculo del contenido en proteína bruta. Parte 1: Semillas oleaginosas y alimentos para animales. Anexo A.

Este trabajo forma parte del proyecto “Climate change mitigation through an innovative goat feed base on agricultural waste recycling” (life 16 CCM/ ES/ 000088 waste recycling) financiado por la Unión Europea.