



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

MÁSTER EN PRODUCCIÓN ANIMAL

INFLUENCIA DE DOS NIVELES DE ALMIDÓN EN LA DIETA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE METANO DE CABRAS MURCIANO-GRANADINAS EN LACTACIÓN

Tesis de Máster

Valencia, 03 de Noviembre 2011

EVA HILDA GUERRA GALDO

Directores

CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ MARTÍNEZ
MARÍA DEL CARMEN LÓPEZ LUJÁN

ÍNDICE GENERAL

I. Introducción

1.1 Factores y estrategias que influyen en la producción de metano

1.2 Ganado Caprino Murciano-Granadina

1.2.1. Capacidad de ingestión

1.2.2. Necesidades Nutritivas de las cabras lactantes

1.3. Metodología para medir la producción de metano

1.3.1. Calorimetría

1.3.2 In vitro

II. Material y Métodos

2.1 Animales e instalaciones

2.2 Alimentación

2.3 Adaptación y Digestibilidad

2.4 Medidas Respirométricas

2.5 Análisis de Laboratorio

2.6 Cálculo y Análisis de datos

2.7 Cálculo de la producción de CH₄

2.8 Diseño Estadístico

III. Resultados y Discusión

IV. Conclusiones

V. Bibliografía

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero.

Tabla 2. Contribución por actividades a la emisión de metano año 2009.

Tabla 3. Total de las emisiones de fermentaciones entéricas de CH₄ en la UE-12 para el año 2009.

Tabla 4. Materias primas y composición química de la dieta A y B.

Tabla 5. Ingestión y coeficientes de digestibilidad de los nutrientes de la dieta A y B.

Tabla 6. Balance energético de ganado caprino en producción láctea.

Tabla 7. Balance de Nitrógeno en cabras de lactación.

Tabla 8. Análisis de la producción y composición de nutrientes de la leche en cabras de lactación.

I. INTRODUCCIÓN

El efecto invernadero es uno de los principales factores que provocan el calentamiento global de la Tierra, debido a la acumulación de gases como el metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) o CFC's en la atmósfera. Después del CO₂, que es emitido principalmente por la combustión de combustibles fósiles, el CH₄ ocupa el segundo lugar (15%) en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial causados por las actividades humanas (Tabla 1). Sin embargo, este segundo gas tiene la capacidad de atrapar 20 veces más calor que el CO₂.

Tabla 1. Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero.

Gases de Efecto Invernadero	%
Dióxido de carbono	55-60
Metano	15
Oxido Nitroso	5
Otros (Hidrofluorcarbono, Hexafloruro azufre, etc.)	15-20

Fuente: IV Encuentro de Ganaderos de Pastizales Naturales del Cono Sur (2010).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2000) indica que la agricultura representa aproximadamente la quinta parte de los efectos de gases termoactivos antropogénicos previstos, y produce alrededor del 50% de las emisiones antropogénicas globales de CH₄.

Según el inventario de gases (años 1990-2009) que publicó el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM, 2011), en España las emisiones de CH₄ por fermentación entérica contribuyen con un 3,41% a las emisiones totales de gases a nivel del país, luego se encuentran los depósitos en vertederos que contribuyen a la emisión de metano en 3,25% como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Contribución por actividades a la emisión de metano (año 2009).

Actividad	Gg CO ₂ -eq	Contribución %
Fermentación entérica en ganado doméstico	12.528,65	3,41
Depósito en vertederos	11.937,63	3,25
Gestión de estiércol	5.591,93	1,52
Tratamiento de aguas residuales	2.304,50	0,63

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2011).

En la ganadería las vacas durante su proceso digestivo expulsan entre 100 y 200 litros de metano al día, el equivalente aproximadamente al 25% de las emisiones de CH₄ generadas por la actividad humana. El metano entérico es el principal contribuyente en la ganadería de gases de efecto invernadero que van desde 56 a 65% en las granjas lecheras de Nueva Zelanda y de 48 a 65% en bovinos en sistemas de producción de leche. La proporción de la producción de CH₄ y la producción de leche están en la proporción de alrededor de 19 g de CH₄ por litro de leche. Del mismo modo, en los

sistemas de producción de carne en Francia, el CH₄ entérico emitido de la granja ha contribuido con un 58-66% en los gases de efecto invernadero (Veysset *et al.*, 2010).

En el año 2009, en la UE-12, la producción de metano anual del ganado caprino fue de 5,00 Kg CH₄/cabeza que corresponde a 9 Gg CH₄, una producción inferior a la del ganado vacuno en ordeño y ovino que produjeron 102 y 7,9 kg CH₄/cabeza, respectivamente, que equivale a 632 y 105 Gg CH₄, como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Total de las emisiones de fermentaciones entéricas de CH₄ en la UE-12 para el año 2009.

	CH ₄ emissions [Gg CH ₄] (kg CH ₄ /cabeza y año)	
Vacas lecheras	632	102
Otros vacuno	359	52
Ganado ovino	105	7.9
Ganado caprino	9	5.0

Fuente: CRF (1990 y 2009).

Johnson y Johnson (1995) señalan que las emisiones de metano por el ganado bovino están estimadas en 58 millones de toneladas/año, lo que representa el 73% del total de emisiones (80 millones) de todas la especies domésticas.

La ganadería contribuye a la emisión de CH₄, por la fermentación entérica y las excreciones de los animales. El rumen de estos animales contiene una gran y diversa población de microorganismos que degradan el alimento produciendo ácidos grasos volátiles (AGV), CO₂ y CH₄. Los AGV producidos en el rumen son absorbidos y son utilizados como fuente de energía, obteniéndose metano por la fijación de H₂ a las partículas de CO₂, que son eliminados por eructación. Más del 80% del CH₄ es producido en el rumen y el resto en el tracto digestivo posterior; en ovejas, el 98% del CH₄ producido es liberado por la boca (Murray *et al.*, 1976).

1.1 Factores y estrategias que influyen en la producción de metano

Unos de los factores que influyen en la producción de metano son la especie y edad del animal, siendo los rumiantes los principales emisores de CH₄. Tsuda (1994) menciona que la producción de metano con respecto a la edad de los rumiantes está influenciada por el desarrollo fisiológico del animal y el estado de producción, ya que a mayor edad mayor producción de metano.

Otros factores que influyen en la actividad de los microbios del rumen y la producción de CH₄ son las características físicas y químicas del alimento, las cuales afectan directamente al nivel de consumo, produciendo mayor cantidad de metano en el rumen cuando el animal consume forrajes secos poco digestibles (pajas o henos de baja calidad) y menor cantidad con forrajes ensilados, ya que la fermentación ruminal de los

carbohidratos fibrosos de estos alimentos da lugar a una mayor formación de acetato, reduciendo el CO₂ y produciendo CH₄.

El picado y la molienda y posterior granulación de los forrajes suponen un descenso de las emisiones de CH₄, especialmente cuando los forrajes son de buena calidad. El procesado de los forrajes supone una disminución del tamaño de sus partículas y un menor tiempo de permanencia en el rumen y una menor tasa de fermentación, aumentando la cantidad de proteína del alimento no degradada en el rumen y la de aminoácidos absorbidos en el intestino. Moss *et al.* (2000) señalan que la producción de metano se redujo en aproximadamente un 30% cuando la tasa de pasaje de las fases líquida y sólida se incrementó de un 54 a un 68%. Los mismos autores señalan que las emisiones de CH₄ se encuentran relacionadas con la cantidad de materia orgánica digestible en el rumen, debido a que más del 50% de la digestión ocurre allí.

El consumo de elevadas cantidades de concentrados en relación al forraje está asociado con una menor producción relativa de CH₄. Este efecto se produce por consecuencia de la mayor velocidad de fermentación del concentrado que afecta al balance entre las tasas de fermentación de estos carbohidratos y la velocidad de tránsito, probablemente a través de impactos en el pH y la población microbiana (Johnson y Johnson, 1995) y, por otro lado, de la disminución del poder tampón asociado al consumo de forraje de forma directa (capacidad buffer de las pectinas o la lignina) o indirecta (a través de la inducción de la rumiación y de la entrada en el rumen de tampón fosfato y bicarbonato contenido en la saliva).

La digestión del almidón de los granos de cereales en la mayoría de las raciones de rumiantes es prácticamente completa, existiendo no obstante diferencias según el tipo de cereal, en cuanto a la proporción de almidón soluble (hidrolizado muy rápidamente), la fermentada en el rumen, y la digerida en tramos posteriores del aparato digestivo; siendo la degradabilidad media de las proteínas del trigo o de la cebada superior a la del maíz o la del sorgo (70-80 vs 40-45%, respectivamente) (De Blas, 1996). Moss *et al.* (2000) indican que con dietas altas en almidón se favorece la producción de propionato y se disminuye la relación CH₄/materia orgánica fermentada en el rumen. Como se discutió previamente, el efecto de estas dietas sobre el pH ruminal pueden explicar la disminución en las emisiones de metano. Chandramoni *et al.* (2000) señalan que hay menos producciones de metano con dietas ricas en almidones que con dietas donde la fibra es preponderante.

Otras formas de reducir la producción de metano es con la suplementación de aditivos, entre ellos la adición de grasa a la dieta, ya que más de un 5% disminuye la digestión de la fibra. Así mismo la utilización de los ionóforos como la monensina puede reducir la producción de CH₄ en un 3-8% (en g/kg de consumo de MS); la utilización de levaduras de las especies *Saccharomyces cerevisiae* *Aspergillus oryzae* con su efecto sobre los protozoos ruminales; la defaunación tiene efectos sobre la fermentación en el rumen, reduciendo la degradación de los carbohidratos estructurales y aumentando el flujo de

proteína al intestino. También existen otros compuestos como los ácidos orgánicos y la utilización de extractos de plantas que pueden reducir la formación de metano.

1.2 Ganado Caprino. Raza Murciano-Granadina

Según la Encuesta Nacional de ganado caprino correspondiente a la campaña del mes de Noviembre del 2010, la población de hembras para vida en España es de 2.446.985 cabezas de las cuales más de la mitad son hembras en ordeño (1.401.903 cabezas). La Comunidad Valenciana con 81.898 cabezas representa el 2,82% de la población total de ganado caprino nacional.

La raza Murciano-Granadina es sin duda la raza de ganado caprino lechero más importante de España, tanto por sus censos y producciones como por su repercusión internacional. El peso de las hembras está comprendido entre los (40-60 kg), el perfil es subcóncavo y las proporciones medias. Se caracteriza por su acusada especialización lechera. Con una producción media de 310 kg de leche para cabras de primer parto, en 150 días de lactación, y para cabras de segundo parto y sucesivos, 513 kg de leche en 210 días de lactación. Asimismo, existen individualidades que han alcanzado producciones de 1.300 kg de leche en 304 días de lactación.

1.2.1 Capacidad de ingestión

La determinación de la capacidad de ingestión está condicionada debido a la cantidad de factores que afectan a la misma, ya sean relacionados con el tipo de alimento, con factores medioambientales o con el estado fisiológico del animal. Los valores de capacidad de ingestión son bastante variables, oscilando entre el 1,6 y el 6,8% del peso vivo del animal, o bien entre 47 y 180 g MS/kg PV^{0,75}.

El suministro de alimentos concentrados modifica el nivel de ingestión de los forrajes, dependiendo la “tasa de sustitución” (disminución de la cantidad de forraje ingerido al aumentar la cantidad de alimentos concentrados en 100 g) de la naturaleza y calidad del forraje, de las cantidades incluidas en la ración y del estado fisiológico del animal (gestación, lactación, crecimiento, etc.).

El límite del nivel de consumo alimentario, tanto de volumen como de concentrado, quedará determinado por el contenido en materia seca del total de la ración administrada. Asimismo la digestibilidad de una ración aumenta a medida que se incrementa la ingestión de concentrados.

1.2.2 Necesidades Nutritivas de las cabras lactantes

Según el estado de lactación las cabras tienen unos requerimientos nutricionales, los cuales son necesarios conocer a la hora de formular raciones con el objeto de cubrir sobre todo sus necesidades energéticas y proteicas. La energía que contiene el alimento se conoce como energía bruta, no toda es utilizable y aprovechable por los animales;

parte de la energía se pierde en las heces, originando la energía digestible, luego existen otras pérdidas como las del metano y la orina; después de restar estas dos nuevas pérdidas nos queda la energía metabolizable, perdiéndose otra fracción como calor y quedando la energía retenida o neta disponible para el mantenimiento y producción de leche, como se observa en la ecuación siguiente:

$$E_{\text{Retenida}} = E_{\text{Bingerida}} - E_{\text{heces}} - E_{\text{CH}_4} - E_{\text{orina}} - \text{Calor}$$

La misma secuencia de N ingerido a N retenido se da en el caso del nitrógeno, siendo las únicas pérdidas las producidas en heces y en orina:

$$N_{\text{Retenido}} = N_{\text{ingerido}} - N_{\text{heces}} - N_{\text{orina}}$$

Las necesidades de calcio y fósforo generalmente se suplen con correctores minero-vitamínicos que cubren el posible déficit de estos elementos en la dieta; en otros casos se añade en forma de carbonato cálcico y fosfato bicálcico.

1.3 Metodología para medir el metano

1.3.1 Calorimetría

Mediante la calorimetría directa puede medirse la producción de calor directamente en los animales. Otra posibilidad es a través de calorimetría indirecta, en la cual, a partir del intercambio respiratorio del animal, además de determinar la producción de calor se determina la producción de metano.

En calorimetría indirecta es necesario conocer la cantidad de O_2 que se emplea para cada nutriente con objeto de aplicar el equivalente térmico apropiado al convertir el consumo de O_2 en producción de calor. La relación existente entre el intercambio respiratorio y la producción de calor se modifica si la oxidación de los carbohidratos o las grasas es incompleta, en los cuales un producto final de la oxidación de los carbohidratos es el CH_4 . En la práctica, la producción de calor calculada a partir de intercambio respiratorio en los rumiantes se corrige para tener en cuenta este hecho, restando 2,42 kJ por cada litro de CH_4 , aplicándose la ecuación de Brouwer (1965).

La determinación de la producción de calor o de metano por calorimetría indirecta se puede realizar con cámaras de circuito cerrado o abierto. El primer caso consiste en un recinto hermético donde se introduce el animal, con recipientes que contienen absorbentes para el CO_2 y el vapor de agua; midiéndose al final el CO_2 producido pesando el absorbente, y el CH_4 midiendo la cantidad de aire acumulado en el circuito. En las cámaras de circuito abierto el aire se extrae de la cámara a un ritmo establecido, tomándose muestras del aire para su análisis, a la entrada y a la salida. Además, el intercambio respiratorio puede medirse sin necesidad de una cámara, adaptando al animal una máscara facial conectada a un circuito abierto, para medir el consumo de O_2 y la producción de CO_2 y CH_4 .

1.3.2 Técnica In Vitro

Dentro de las técnicas más conocidas *in vitro* están la de Tilley y Terry. Las muestras de forraje se incuban en el laboratorio con líquido ruminal procedente de animales fistulados en condiciones similares (anaerobiosis, agitación, temperatura, pH), a las que existen en el rumen; esta simulación de la digestión microbiana se completa con una digestión péptico-clorhídrica que imita la digestión en el cuajar. Luego se recogen muestras de gas y se mide la cantidad de CH₄.

OBJETIVO

En este trabajo se pretende determinar el efecto que tienen distintos niveles de almidón en la dieta sobre la producción de metano en cabras de raza Murciano-Granadina en lactación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Animales e instalaciones

Se utilizaron 8 cabras adultas de raza Murciano-Granadina en el quinto mes de lactación (final de lactación) de la granja experimental de pequeños rumiantes del Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Politécnica de Valencia. Los animales estaban identificados con un crotal y fueron seleccionados según criterios de peso vivo, utilizando una balanza Grupanor Cercampo con capacidad de 100 kg y obteniéndose pesos entre 40 y 55 kg. También se tuvo en cuenta su producción lechera.

Se introdujo cada cabra de forma independiente en cada una de las jaulas metabólicas, con las siguientes dimensiones: altura de 96 cm, ancho de 53 cm y 143 cm de profundidad. Cada jaula está conformada de un bebedero automático tipo cazoleta y comedero metálico con la finalidad de controlar el consumo de alimento. El suelo de la jaula consta de rejilla metálica que permite la recolección diaria de las heces y filtración de la orina, la cual caía en un recipiente con base cóncava e inclinación que permitía conducirla a un balde.

Las cabras fueron ordeñadas en la mañana con una ordeñadora portátil (FLACO, 20-400 l/min), con 60 kg de capacidad, con 2 juegos de ordeño, tras el ordeño se desinfectaban los pezones de cada cabra con yodo. Luego el cubo y las pezoneras de la ordeñadora mecánica se lavaban utilizando alternadamente una solución ácida o una básica cada día.

2.2 Alimentación

Las dietas fueron formuladas según los requerimientos de las tablas FEDNA (2009) de ganado caprino de España. Se prepararon dos dietas isoenergéticas que diferían en el nivel de almidón, una primera dieta con un nivel de almidón superior (dieta A) y otra con un nivel inferior (dieta B). Las dos dietas estaban compuestas de grano de cebada, remolacha peletizada, grano de maíz, torta de soja, paja de cebada y heno de alfalfa. Tanto la paja de cebada como el heno de alfalfa fueron cortados previamente con una longitud de 2,5 cm, con una picadora Skiold Saby A/S tipo HST Wind 7,5 kw de una capacidad de 200 kg. Para cubrir las necesidades de sales minerales y vitaminas también se utilizó carbonato cálcico, fosfato bicálcico, y corrector vitamínico.

El experimento se repitió dos veces, intercambiando las dos dietas con los dos grupos de cabras, con lo que se obligaba a todas las cabras a pasar por todas las dietas y reducir el efecto del animal. En la primera experiencia la dieta A se les suministró a las cabras que se encontraban alojadas en las jaulas de número par y, por tanto, la dieta B la ingerían las cabras que estaban en jaulas de número impar. Tras finalizar esta primera experiencia se intercambiaron las dietas, y la dieta A la pasaron a ingerir las cabras de las jaulas impares y la dieta B las de las jaulas pares.

Las raciones se ofrecían en dos tomas al día, la primera a las 8:30 a.m. retirando por completo los residuos del día anterior y luego a las 15:00 p.m.; en la Tabla 4 se detalla las materias primas utilizadas y la composición química de las dietas.

Tabla 4. Materias primas y composición química de la dieta A y B.

Materias primas (g/kg)	Dieta A	Dieta B
Alfalfa	700	800
Paja	50	400
Maíz	620	130
Cebada	500	490
Pulpa de remolacha	150	500
Soja 44	150	300
Carbonato cálcico	40	40
Corrector	20	20
Fosfato bicálcico	20	10
Sal	10	10
Composición Química (%MS)		
Materia Seca (MS)	88,12	88,49
Cenizas	11,25	12,01
Materia Orgánica (MO)	88,75	87,99
Proteína Bruta (PB)	14,70	16,69
Extracto Etéreo (EE)	2,68	1,87
Fibra Neutro Detergente (FND)	30,72	35,71
Fibra Ácido Detergente (FAD)	11,27	18,45
Lignina Ácido Detergente (LAD)	1,08	1,28
Almidón	29,03	14,44
Energía Bruta (EB) (kJ/kg MS)	17.404,13	17.518,59

2.3 Adaptación y digestibilidad

Las cabras se pesaron al inicio de la prueba y se realizó una primera fase de adaptación durante siete días en las jaulas, con la finalidad de acostumar a los animales a las jaulas, a las dietas y para eliminar del tracto digestivo los restos de los alimentos consumidos con anterioridad. A continuación se realizó la fase de digestibilidad durante los cinco días siguientes. En esta fase se controló diariamente el consumo de alimento mediante el pesaje del alimento rehusado, la producción de heces y la producción de orina, conteniendo esta última 80 ml de una solución de ácido sulfúrico al 10% con la finalidad de evitar pérdidas por evaporación de nitrógeno amoniacal, observándose posteriormente el pH. Durante este periodo también se controló la producción de leche diaria.

2.4 Medidas Respirométricas

En los días siguientes a la realización de la digestibilidad se realizaron las medidas respirométricas a todas las cabras. A cada cabra se le realizó una medida en la mañana antes del suministro de la primera toma de alimento diario y, posteriormente, transcurridos 50 minutos desde el suministro del alimento, a cada cabra se le realizaron 3 mediciones más separadas en un espacio de tiempo de 50 minutos.

Las medidas respirométricas se realizaron con el equipo diseñado en la Unidad de Alimentación Animal del Departamento de Ciencia Animal de la UPV, que consta de una máscara que se le coloca al animal, unida a un tubo que está conectado a un ventilador centrífugo. En este recorrido se encuentra un caudalímetro, y tras éste se localiza la toma de muestras de aire que está conectada a un analizador de gases, y éste, a su vez, a un ordenador portátil.

Primero se realizó un muestreo en blanco del aire atmosférico; luego previamente sujetado el animal e inmovilizado con una “guillotina”, se colocó la máscara en la cabeza del animal, que imposibilitaba la evacuación del aire espirado al exterior y permitía la introducción de aire atmosférico para que respirara el animal a través de dos agujeros, por un lapso de tiempo de 10 minutos, siendo llevado el aire espirado por medio de un tubo a un ventilador centrífugo (CST60, Soler Palau S.A.) que extrae un caudal de 2.600-2.800 litros de aire por hora; a mitad del circuito está colocado un caudalímetro (Sensyflow VT-S, ABB S.A.) que controla el caudal de aire que está circulando por el circuito. Detrás del caudalímetro hay una desviación de la muestra; que estaba conectada al analizador de gases (Easyflow 3020, ABB S.A.) con cubetas de calibración incorporadas para medir concentraciones de O₂, CO₂ y CH₄ y éste a un ordenador portátil (FUJITSU Siemens con Windows XP), en el que se instaló un software de programación Phyton (diseñado en la Escuela Técnica Superior de Informática) y una tarjeta de recogida de datos, registrando cada 5 segundos.

Mediante el caudalímetro se mide el caudal de aire espirado y por la transformada de Haldane (Wilmore y Costill, 1973) se evalúa el volumen de aire inspirado ($V_{\text{inspirado}} \times N_{2\text{inspirado}} = V_{\text{espirado}} \times N_{2\text{espirado}}$; siendo V el volumen de aire y N₂ la concentración de nitrógeno atmosférico).

2.5 Análisis de Laboratorio

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de Alimentación Animal del Departamento de Ciencia Animal para los siguientes compuestos: las dietas se analizaron por triplicado y el alimento rehusado, las heces y la orina se analizaron por duplicado. Tanto las heces como la orina y la leche se congelaron a -20°C hasta su posterior análisis. Las dietas, el alimento rehusado y las heces fueron secadas en estufa. La orina y la leche fueron liofilizadas para la determinación de su energía bruta (EB).

Los análisis químicos se llevaron a cabo siguiendo los métodos oficiales de AOAC (2000) en el caso de las dietas, alimento rehusado, heces y orina. El análisis de la materia seca (MS) se determinó en una estufa a aproximadamente 100 °C; las cenizas se determinaron por incineración a 550 °C en mufla; para el análisis de proteína bruta (PB) se utilizó el método Kjeldahl; para el análisis del extracto etéreo (EE) se utilizó el método Soxhlet previa hidrólisis; el análisis de fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) se realizó según Van Soest *et al.* (1991), con la técnica de las bolsas de filtro ANKOM; para la determinación de la EB, se utilizó la bomba calorimétrica adiabática (Gallenkamp Autobomb). Los análisis de la leche para MS, EE, PB y lactosa se realizaron en el Laboratorio Interprofesional Lechero de la Comunidad Valenciana (LICOVAL).

2.6 Cálculos y Análisis de datos

- Coeficiente de Digestibilidad aparente genérico (CD), es el grado de utilización digestiva de una ración, que corresponde a la fracción de las sustancias ingeridas que no son excretada en las heces.

$$CD = \frac{\text{Ingerido} - \text{Excretado}}{\text{Ingerido}} \times 100$$

- Energía metabolizable (EM), es la energía digestible menos la energía que se pierde en la orina y los gases combustibles.

$$EM_{\text{ing}} = ED_{\text{ing}} - (E_{\text{orina}} + E_{\text{CH}_4})$$

- La producción de calor (PC) se determinó por calorimetría indirecta por determinación del intercambio respiratorio; a partir del consumo de O₂, la producción de CO₂ y CH₄, y nitrógeno excretado en orina; en la que se utilizó la ecuación de Brouwer (1965).

$$PC \text{ (kJ/d)} = 16,18 \text{ O}_2 \text{ (l/d)} + 5,02 \text{ CO}_2 \text{ (l/d)} - 2,17 \text{ CH}_4 \text{ (l/d)} - 5,99 \text{ N}_{\text{orina}} \text{ (g/d)}$$

Donde:

$$\text{O}_2 = \text{Oxígeno consumido (l/d)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ y CH}_4 = \text{CO}_2 \text{ y CH}_4 \text{ producidos (l/d)}$$

$$\text{N}_{\text{orina}} = \text{Nitrógeno excretado en orina (g/d)}$$

2.7 Cálculo de la producción de CH₄ por los animales mediante la transformada de Haldane.

- a) Determinación del volumen de aire inspirado del medio ambiente por el animal.

$$VN_2 \text{ in} = VN_2 \text{ es}$$

$$V \text{ aire in} \times [N_2] \text{ in} = V \text{ aire es} \times [N_2] \text{ es}$$

$$V_{\text{aire in}} = \frac{V_{\text{aire es}} \times [N_2]_{\text{es}}}{[N_2]_{\text{in}}}$$

- Donde:
- $V_{N_2 \text{ in}}$ = Volumen de nitrógeno inspirado (l/h)
 - $V_{N_2 \text{ es}}$ = Volumen de nitrógeno espirado (l/h)
 - $V_{\text{aire in}}$ = Volumen de aire inspirado (l/h)
 - $V_{\text{aire es}}$ = Volumen de aire espirado (l/h)
 - $[N_2]_{\text{in}}$ = Concentración de nitrógeno inspirado del medio ambiente (%)
 - $[N_2]_{\text{es}}$ = Concentración de nitrógeno espirado por el animal (%)

- b) Determinación de la producción de metano conociendo el volumen de aire inspirado:

$$V_{CH_4 \text{ producido}} = V_{CH_4 \text{ es}} - V_{CH_4 \text{ in}}$$

$$V_{CH_4 \text{ producido}} = V_{\text{aire es}} \times [CH_4]_{\text{es}}$$

- Donde:
- $V_{CH_4 \text{ es}}$ = Volumen de metano espirado (l/h)
 - $V_{CH_4 \text{ in}}$ = Volumen de metano inspirado (l/h)
 - $V_{\text{aire es}}$ = Volumen de aire espirado por el animal (l/h)
 - $[CH_4]_{\text{es}}$ = Concentración de metano espirado por el animal (%)

2.8 Diseño Estadístico

Se utilizó un modelo lineal general realizándose el ANOVA con un test de Tukey, utilizándose el programa estadístico JMP PRO versión 9 (2010).

$$Y_i = \mu + g_i + \varepsilon_i$$

Donde:

- Y_i = Variable dependiente
- μ = Media general
- g_i = Efecto de la Dieta
- ε_i = Error aleatorio

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las materias primas utilizadas en la formulación de las dietas en este experimento en cabras al final de la lactación son representativas de las utilizadas en España, observándose mejor aprovechamiento del alimento con la dieta con mayor cantidad de almidón, obteniéndose un mayor consumo de energía metabolizable y, en definitiva, una mejor retención de energía en las reservas corporales y una mayor retención de nitrógeno corporal. La dieta con un nivel superior en almidón también disminuyó la cantidad de energía disipada en forma de metano, lo que acrecentó las diferencias en el balance energético entre las dos dietas. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas para la producción y composición de la leche. A continuación se detallan las tablas con los resultados obtenidos.

En la Tabla 5 se observa que existen diferencias significativas ($P < 0,01$) en la ingestión de alimento por kilogramo de materia seca por la cantidad de almidón que es más apetecible. Mota *et al.* (2008) en cabras lactantes de raza Granadina alimentadas ad libitum con heno de alfalfa y concentrado (75:25), obtuvieron resultados de ingestión de materia seca de 1,41 kg/día, valores parecidos a los obtenidos con la dieta B.

Fedele *et al.* (2002) ofrecieron alimento a cabras en final de la lactación bajo un sistema de libre elección heno de alfalfa - cebada; obteniendo un consumo ($120,59 \text{ g/kg PV}^{0,75}$) mayor que el de nuestro experimento ($105,58 \text{ g/kg PV}^{0,75}$).

Tabla 5. Ingestión (kg MS/día) y coeficientes de digestibilidad (%) de los nutrientes de la dieta A y B.

	DIETA A	DIETA B	EEM	P-valor
Ing (kg MS/día)	1,89	1,43	0,093	0,0066
CD MS (%)	79,76	73,79	1,347	0,0205
CD MO	80,17	74,28	1,314	0,0188
CD PB	76,56	75,66	1,528	0,7800
CD EE	80,34	59,60	3,079	<0,0001
CD FND	58,93	45,90	2,724	0,0108
CD FAD	17,47	29,67	7,333	0,4246
CD EB	78,46	72,57	1,400	0,0298

EEM: error estándar medio; P-valor: probabilidad (si $P < 0,05$ es significativo); CD: coeficiente de digestibilidad; MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; EE: extracto etéreo; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; EB: energía bruta.

No se observaron diferencias significativas para la digestibilidad de la proteína ($P > 0,05$) a pesar de tener la dieta B un mayor contenido en harina de soja, siendo el valor medio para las dos dietas de 76,11%.

Mientras que las dietas sí presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en los coeficientes de digestibilidad de MS (79,76 y 73,79% para la dieta A y B,

respectivamente). Cerrillo *et al.* (1999) en cabras secas Alpinas observaron mayores valores de digestibilidad con una dieta con 50% almidón (84,0% de MS) que con sólo heno de alfalfa (82,7% MS), observándose mayor coeficiente de digestibilidad de MS, al igual que en nuestro experimento, con una dieta con mayor contenido en almidón. Sanz Sampelayo *et al.* (1998) obtienen valores parecidos a la dieta B en cabras Granadinas en la segunda semana de lactación, suministrando el forraje en fracción de fibras largas de heno de alfalfa (3 a 4 cm) y observando un coeficiente de digestibilidad de la MS de 73,2%. Tovar-Luna *et al.* (2010) en cambio encontraron un menor coeficiente de digestibilidad de MS (67,4%) en dietas con un 60% de concentrado en cabras Alpinas al final de la lactación.

Los coeficientes de digestibilidad de MO (80,17 y 74,28%) también presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) con la misma tendencia que la MS. Sanz Sampelayo *et al.* (1998) obtienen un coeficiente de digestibilidad de MO de 75,1%, similar al obtenido en nuestro trabajo. Tovar-Luna *et al.* (2010) encontraron valores inferiores, un 69% de media.

Las dietas A y B presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en los coeficientes de digestibilidad de FND (58,93 y 45,90% para la dieta A y B, respectivamente) ya que en la dieta A se utilizó como forraje heno de alfalfa y en la dieta B se utilizó heno de alfalfa y paja de cereal. Tovar-Luna *et al.* (2007) obtuvieron coeficientes de digestibilidad de FND para cabras en lactación de raza Angora, Boer y Spanish (52,1, 57,2 y 53,9 %, respectivamente) que se asemejan a los obtenidos en nuestro experimento con la dieta A. Sanz Sampelayo *et al.* (1998) obtienen valores de 58,2%, más parecidos a la dieta A. Tovar-Luna *et al.* (2010), obtuvieron valores inferiores que nuestras dietas con un coeficiente de digestibilidad de FND de 44,1% en la que utilizaron heno de alfalfa y cáscara de algodón.

Los coeficientes de digestibilidad de la energía bruta presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) por la mayor digestibilidad del almidón que de la fibra, y por lo tanto a favor de la dieta A frente a B. Tovar-Luna *et al.* (2007) obtuvieron una digestibilidad de la EB de 79,2, 78,9, 78,7 y 78,2% para las razas Alpina, Angora, Boer, Spanish; valores parecidos a la dieta A. Tovar-Luna *et al.* (2010) obtuvieron en cabras Alpinas un coeficiente de digestibilidad de EB de 67,7%, valor inferior a nuestro experimento.

En la Tabla 6 se exponen los pesos de las cabras y el balance energético para las dos dietas estudiadas. El peso vivo medio de las cabras (PV) para las dos dietas fue similar ($46,97 \pm 1,74$ kg). Las cabras en lactación presentaron diferencias estadísticas significativas en EBing ($P < 0,01$) al suministrar la dieta A ($1.871,32$ kJ/kg $PV^{0,75}$) con respecto a la dieta B ($1.418,74$ kJ/kg $PV^{0,75}$), esto se debe, como vimos en la Tabla 5, a que las cabras alimentadas con la dieta A tuvieron un consumo de MS superior a la dieta B (1,9 vs. 1,4 kg MS/d, respectivamente). Por esta razón, se encontraron diferencias estadísticas significativas en EDing ($P < 0,01$) al suministrar la dieta A ($1.437,00$ kJ/kg $PV^{0,75}$) con respecto a la dieta B ($1.015,44$ kJ/kg $PV^{0,75}$), ya que no se

observaron diferencias en la energía excretada en heces. Esta misma tendencia se mantuvo en la EM, la ingestión de energía metabolizable (EMing) presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0,01$) obteniéndose 1.363,34 kJ/kg PV^{0,75} para la dieta A y 896,22 kJ/kg PV^{0,75} para la dieta B, esta menor absorción de EMing es porque en la dieta B hubo una mayor pérdida de energía sobretodo en forma de metano.

Tabla 6. Balance energético de ganado caprino en producción láctea (kJ/kg PV^{0,75}).

	DIETA A	DIETA B	EEM	P-valor
PV (kg)	46,81	47,13	1,736	0,9319
PV ^{0,75}	17,90	17,99	0,494	
EBing (kJ/kg PV ^{0,75})	1871,32	1418,74	107,05	0,0287
Eheces	434,32	403,30	39,193	0,7065
EDing	1437,00	1015,44	77,619	0,0025
Eorina	13,05	18,85	1,818	0,1133
E _{CH4}	60,60	100,37	7,840	0,0059
EMing	1363,34	896,22	80,902	0,0009
PC	596,31	547,83	31,209	0,4565
ER total	767,03	348,39	81,419	0,0050
ER leche	291,60	276,86	19,958	0,7253
ER corporal	475,43	71,53	72,41	0,0017

EEM: error estándar medio; P-valor: probabilidad (si $P < 0,05$ es significativo); EBing: energía bruta ingerida, Eheces: energía de las heces; EDing: energía digestible ingerida; Eorina: energía de la orina; E_{CH4}: energía del metano; EMing: energía metabolizable ingerida; PC: producción de calor; ER total: energía retenida total; ER corporal = ER total – ER leche; ER leche: energía retenida en leche.

Aguilera *et al.* (1990) observó en cabras Granadinas en mitad y final de lactación, alimentadas con una dieta de heno de alfalfa peletizada y cebada en grano, unos valores inferiores con respecto a nuestras dietas de EMing de 628 y 1050 kJ/kg PV^{0,75}, respectivamente. Tovar-Luna *et al.* (2010) obtuvieron en cabras Alpinas alimentadas con 60% de concentrado en mitad y final de la lactación una EMing mayor (1072,78 y 959,54 kJ/kg PV^{0,75}, respectivamente) que alimentando con una dieta con un 20% de concentrado (830,82 y 752,97%), resultados que reflejan el efecto de proporcionar un mayor porcentaje de concentrado en la dieta, al igual que nuestro experimento.

En cuanto a la producción de CH₄, que es el objetivo de este trabajo, con la dieta A se produjeron 60,60 kJ/kg PV^{0,75} y con la dieta B 100,37 kJ/kg PV^{0,75}, siendo las diferencias significativas ($P < 0,05$). Esta mayor producción de CH₄ cuando se administra la dieta B puede ser debida a la mayor fermentación acética producida por un contenido de fibra superior. En la dieta A se obtuvo menor producción de metano, puede ser debido probablemente al mayor desarrollo de bacterias amilolíticas y lácticas y por las modificaciones del medio ruminal, siendo la disminución del pH la más importante lo cual es desfavorable a las bacterias celulolíticas (zona de pH óptimo 6,5) y favorable a las bacterias amilolíticas (zona óptima < 6,0), aunque no hay que olvidar que el

rumiante necesita aporte de fibra, la digestión del almidón en el intestino delgado por vía enzimática en lugar de por vía fermentativa tiene, por tanto, ventajas desde un punto de vista de eficacia energética, ya que disminuyen la formación de metano y el calor de fermentación (Johnson y Johnson, 1995; Beauchemin *et al.*, 2009; López *et al.*, 2010).

La producción de CH₄ con la dieta A es el 3,24% de la EBing y el 4,22% de la EDing, esto coincide con Segundino *et al.* (2002) quienes indican que la cantidad de energía perdida en forma de metano puede oscilar entre un 2-3% de la energía ingerida en un animal que consume una ración con una elevada proporción de cereales a voluntad; en cambio en la dieta B es el 7,1% de la EBing y el 9,88% de la EDing. Según Aguilera *et al.* (2001) las pérdidas energéticas en metano se sitúan entre el 5 y 12% de la EBing, asimismo en la revisión de varias ecuaciones obtuvieron que la producción de CH₄ alcanza 6,66% de EBing ó 10,32% de EDing. López *et al.* (2010), con cabras en mantenimiento alimentadas con cuatro tipos de raciones mixtas con niveles de almidón medios del 13%, obtienen valores medios de metano aproximadamente de 42 kJ/kg PV^{0,75} y una relación CH₄/EBing media del 4,2%, la cual es inferior a la obtenida en este trabajo con la dieta B (14% almidón) en cabras en lactación.

Tovar-Luna *et al.* (2010), no obtuvieron diferencias significativas en la producción de CH₄ en cabras Alpinas alimentadas con 60% y 20% de concentrado observándose un ligero aumento del valor medio en el inicio, mitad y final de la lactación (52,96, 74,31 y 79,17 kJ/kg PV^{0,75}, respectivamente) apreciándose que la cabra incrementa la producción de metano según el estado de lactación.

Según De Blas *et al.* (1996) en los sistemas actuales de producción sigue existiendo una correlación negativa entre la concentración energética de la ración y las emisiones de CH₄ en rumiantes, de forma que valores medios se reducen desde alrededor de un 6,5-7,5% en raciones extensivas hasta un 4,0-4,5 en raciones concentradas; también indica que un incremento del nivel de producción de leche o carne reduce las emisiones de CH₄.

Para determinar la producción de calor (PC) se utilizó un sistema móvil de calorimetría indirecta que fue testado para el O₂, donde la cantidad de oxígeno inyectado tiene que ser igual a la cantidad de O₂ recogido por el sistema. De este modo se asegura que el sistema no tenga pérdidas por mala calibración del analizador, o existan fugas y por lo tanto las determinaciones de PC no sean precisas. En la PC el valor medio obtenido fue 572,07 kJ/kg PV^{0,75}. Aguilera *et al.* (1990) en cabras Granadinas a mitad y final de lactación obtuvieron valores de PC inferiores a los de este trabajo (464 y 611 kJ/kg PV^{0,75}, respectivamente). En cambio, Tovar-Luna *et al.* (2010) obtuvieron en mitad y final de la lactación, en cabras de raza Alpina, unas producciones de calor de 685,38 y 645,31 kJ/kg PV^{0,75}, efecto relacionado probablemente con el elevado potencial genético de la raza Alpina frente a la Granadina o Murciano-Granadina.

La energía retenida total (ER total) es significativamente superior en los animales que comieron la dieta A por una mejor digestibilidad del alimento y mayor EMing. Por otro lado, en la energía retenida en la leche no se observan diferencias significativas entre las dos dietas; en cambio sí que existen diferencias significativas ($P < 0,05$) en la energía retenida corporal (ER corporal) siendo menor con la dieta B por el menor consumo de energía bruta. McDonald *et al.* (2006) indican que cuando aumenta la EMing, el animal comienza a retener energía, bien en sus tejidos corporales o en productos como la leche en forma de carbohidratos (lactosa).

Tabla 7. Balance de Nitrógeno en cabras en lactación (g/kg PV^{0,75}).

	DIETA A	DIETA B	EEM	P-valor
Ning	2,53	2,16	0,135	0,1851
Nheces	0,59	0,58	0,056	0,8816
Ndig	1,93	1,59	0,095	0,0628
Norina	0,52	0,76	0,073	0,1133
N retenido total	1,41	0,83	0,111	0,0040
N leche	0,51	0,51	0,032	0,9799
N corporal	0,90	0,32	0,101	0,0010

EEM: error estándar medio; P-valor: probabilidad (si $P < 0,05$ es significativo); Ning: nitrógeno ingerido; Nheces: nitrógeno de las heces; Ndig: nitrógeno digerido; Norina: nitrógeno de la orina; N leche: nitrógeno de la leche; N corporal = N retenido total – N leche.

Tras detallar los valores del balance energético, nos fijamos en los resultados del balance de nitrógeno que se muestran en la Tabla 7. A pesar de que las dietas diferían 2 puntos en el contenido en proteína, aunque se pretendió que fueran isoproteicas, no se observaron diferencias significativas a nivel de ingestión nitrogenada y digestibilidad. Sí se presentaron diferencias significativas ($P < 0,01$) en la retención de nitrógeno total, siendo para la dieta A de 1,41 g/kg PV^{0,75} y para la dieta B de 0,83 g/kg PV^{0,75}. Por otro lado se encontró que el nitrógeno en la leche (0,51 g/kg PV^{0,75}) es igual para las dos dietas. Aguilera *et al.* (1990) obtuvieron en cabras Granadinas en lactación valores que oscilan entre 1,24 y 2,75 g/kg PV^{0,75} de nitrógeno ingerido (Ning), encontrándose nuestros resultados dentro de estos valores. Sanz Sampelayo *et al.* (1998), en cabras Granadinas en lactación, encontraron valores de Ning de 2,242 g/kg PV^{0,75} por día y N leche de 0,36 g/kg PV^{0,75} por día, resultado inferior a nuestras dietas.

Estadísticamente no existen diferencias significativas en la producción y composición de la leche (Tabla 8). Valores obtenidos por Tovar-Luna *et al.* (2010) en cabras Alpinas alimentadas con 60% de concentrado en la fase final de lactación obtuvieron mayores producciones, éstas fueron de 2102,7 ml de leche /d con un contenido graso de 3,9%. En nuestro caso las producciones son menores pero el contenido graso en leche fue superior. Aguilera *et al.* (1990) en el segundo período de lactación realizada a las 18 semanas en cabras Granadinas encontraron una producción media de 1298,34 ml/d, valor parecido a la producción obtenida en nuestro experimento. Mota *et al.* (2008) en cabras lactantes de raza Granadina alimentadas ad libitum con heno de alfalfa y

concentrado (75:25), obtuvieron una mayor producción de leche 1414 ml/día en comparación con la dieta B (1287,97 ml/d).

Tabla 8. Análisis de la producción (ml/d) y composición de nutrientes (%) de la leche en cabras de lactación.

	DIETA A	DIETA B	EEM	P-valor
Producción (ml/d)	1347,92	1287,97	90,253	0,7522
Materia seca (%)	14,62	14,91	0,249	0,5816
Grasa	4,99	5,39	0,159	0,2156
Proteína	4,24	4,11	0,107	0,5466
Lactosa	4,71	4,73	0,079	0,9163

EM: Error Estándar Medio; P-valor: probabilidad ($P < 0,05$).

La influencia de las dietas en la producción de leche y grasa no tuvieron diferencias estadísticas significativas; esta disminución de la grasa con la dieta A podría deberse a una mayor producción de ácido propiónico y menor producción de ácido acético en el rumen, siendo este último precursor de la síntesis de grasas en la glándula mamaria.

Resumiendo nuestro trabajo, hemos pasado de una dieta con un 14% de almidón a otra con el 29%. Este incremento en el contenido en almidón no ha afectado al rendimiento lechero de los animales y sí a un descenso en la producción de metano. Si expresamos la producción de metano respecto a la EB ingerida obtenemos el factor de conversión de metano (Y_m). Los valores de Y_m han sido de 3% para la dieta con un 29% de almidón y 7% para la dieta con el 14%. Si expresamos la producción de metano en g/d, un incremento del 50% de almidón en la dieta ha supuesto una reducción de 13 g/d en la producción de metano (siendo la producción de metano en g/d de 19,49 para la dieta rica en almidón y 32,45 para la pobre en almidón). No se observaron diferencias en producción y calidad lechera para las 2 dietas, pero si queremos saber los gramos de metano producidos por litro de leche, los valores han sido de 14 g/l leche para la dieta con 29% de almidón y 25 g/l leche para la dieta con el 14% de almidón.

IV. CONCLUSIONES

- La dieta con un alto nivel de almidón disminuye la producción de metano en cabras de lactación y tiene una mayor eficiencia energética y retención de nitrógeno, no presentando diferencias en cuanto a la producción y composición de la leche.
- El sistema de calorimetría indirecta por circuito abierto móvil con máscara respiratoria permite cuantificar la producción de metano.

V. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, J.F. 2001. Aportaciones al conocimiento de la nutrición energética de pequeños rumiantes, con particular referencia al ganado caprino. *Archivos de Zootecnia* 50: 565-596.

Aguilera, J.F.; Prieto, C.; Fonollá, J. 1990. Protein and energy metabolism of lactating Granadina goats. *British Journal of Nutrition* 63: 165-175.

Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2009 and inventory report. 2011. Submission to the UNFCCC Secretariat. Technical report N° 2/2011.

Beauchemin, K.; McAllister, T.; McGinn, S. 2009. Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, veterinary science, Nutrition and Natural Resources* 4: 1-18.

Cerrillo, M.; Russell, J.R.; Crump, M.H. 1999. The effects of hay maturity and forage to concentrate ratio on digestion kinetics in goats. *Small Ruminant Research* 32: 51-60.

Chandramoni, S.B.; Jadhao, C.M.; Tiwari, C.M.; Khan, M.Y. 2000. Energy metabolism with Particular reference to methane production in Muzaffarnagari sheep fed rations in roughage to concentrate ratio. *Animal Feed Science and Technology* 83: 287- 300.

De Blas, C.; García-Rebollar, P.; Méndez, J. 1996. Utilización de Cereales. *Mundo Ganadero*, Marzo N° 75, pp. 46-52.

IV Encuentro de Ganaderos de Pastizales Naturales del Cono Sur. 2010. El rol de la ganadería en el cambio climático. Impacto de sistemas criadores y ciclo completo <http://www.slideshare.net/Pastizalesdelconosur/10-becoa>

Fedele, V.; Claps, S.; Rubino, R.; Calandrelli, M.; Pilla, A.M. 2002. Effect of free-choice and traditional feeding systems on goat feeding behaviour and intake. *Livestock Production Science* 74: 19–31.

FEDNA. 2001. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal <http://www1.etsia.upm.es/fedna/analisis/ana29x.htm>

Johnson, K.A. y Johnson, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483-2492.

López, M.C.; Ródenas, L.; Piquer, O.; Cerisuelo, A.; Cervera, C.; Fernández, C. 2010. Determinación de producción de metano en caprinos alimentados con dietas con distintos cereales. *Archivos de Zootecnia* 60: 943-951.

McDonald, P.; Edwards, R.A.; Morgan, C.A. 2006. *Nutrición Animal*. 6ª edición. Editorial Acribia, Zaragoza. pp. 587.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM). 2010. Publicación elaborada por la Secretaría General Técnica Subdirección General de Estadística. Madrid, NIPO: 770-11-165-8.

- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM). 2011. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España e información adicional años 1990-2009.
- Moss, A.R.; Jouany, J.P.; Newbold, J. 2000. INRA EDP Sciences. *Annales Zootechnie* 49: 231-253.
- Mota, M.; Balcells, J.; Ozdemir Baber, N.H.; Bölü Ktepe, S.; Belenguer, A. 2008. Modelling purine derivative excretion in dairy goats: endogenous excretion and the relationship between duodenal input and urinary output. *Animal* 2:1, pp 44-51.
- Murray, R.M.; Bryant, A.M.; Leng, R.A. 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition* 36:1-14.
- Sanz Sampelayo, M.; Perez, L.; Boza, J.; Amigo, L. 1998. Forage of Different Physical Forms in the Diets of Lactating Granadina Goats: Nutrient Digestibility and Milk Production and Composition. *Journal of Dairy Science* 81: 492-498.
- Segundino, L.; Newbold, J.; García, R. 2002. ¿Cómo reducir la formación de metano en el rumen?. *Mundo Ganadero* pp. 58-61.
- Tovar-Luna, I.; Goetsch, A.L.; Puchala, R.; Sahlu, T.; Carstens, G.E.; Freetly, H.C.; Johnson, Z.B. 2007. Effects of diet quality on energy expenditure by 20-month-old Alpine, Angora, Boer, and Spanish wethers *Small Ruminant Research* 72: 18-24.
- Tovar-Luna, I.; Puchala, R.; Sahlu, T.; Freetly, H.C.; Goetsch, A.L. 2010. Effects of stage of lactation and dietary concentrate level on energy utilization by Alpine dairy goats. *Journal of Dairy Science* 93: 4818-4828.
- Tsuda, T. 1994. *Physiology of Domestic Animals*. 1st Edición. Japan.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.
- Veysset P.; Lherm, M.; Bébin D. 2010. Energy consumption, greenhouse gas emissions and economic performance assessments in French Charolais suckler cattle farms: Model-based analysis and forecast. *Agricultural Systems* 103: 41-50.