



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

MASTER EN PRODUCCIÓN ANIMAL

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

Tesis de Master

Valencia, julio de 2012

PAULA MONLLOR GUERRA

Directores:

CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ MARTÍNEZ

MARÍA DEL CARMEN LÓPEZ LUJÁN

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer esta tesina a Carlos y M^a Carmen por su ayuda, apoyo y paciencia en todo momento durante estos meses. También a Cristòfol, por habernos puesto en contacto.

A Pati, Carla y Alberto, por su ayuda en el laboratorio y en la granja.

A Sara, Miguel, Diego, Toni de Muro, Bonet, Óscar y Moix, por los buenos momentos vividos en estos meses (y los que nos quedan).

Y a mis padres, abuelos y hermano porque, aunque no sabían muy bien de qué iba todo esto, depositaron una confianza ciega en mí.

ÍNDICE GENERAL

	<u>Página</u>
RESUMEN/SUMMARY	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Calentamiento global y producción de gas por los rumiantes	2
1.2. Importancia de conocer Ym para los inventarios de emisiones por los diferentes países	5
1.3. Estrategias para mitigarlo; la alimentación	6
1.4. Ganado caprino. Raza Murciano-Granadina	10
2. OBJETIVOS	10
3. MATERIAL Y MÉTODOS	11
3.1. Localización y selección de animales	11
3.2. Instalaciones	11
3.3. Alimentación	13
3.4. Procedimiento experimental	15
3.5. Análisis químicos	19
3.6. Cálculos y análisis de datos	19
3.7. Cálculo de la producción de CH ₄	20
3.8. Análisis de datos	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5. CONCLUSIONES	30
6. BIBLIOGRAFÍA	30

ÍNDICE DE TABLAS

	<u>Página</u>
Tabla 1. Poder de recalentamiento global (PRG) de diferentes gases con efecto invernadero en base a equivalentes-CO ₂	2
Tabla 2. Componentes de las emisiones de metano a la atmósfera (%)	3
Tabla 3. Ingredientes y composición química de los piensos	14
Tabla 4. Ingestión (kg MS/día) y coeficientes de digestibilidad (%) para las dietas de almidón (A) y FND (F)	21
Tabla 5. Peso vivo (PV, kg) y balance energético (kJ/PV ^{0,75}) hasta energía metabolizable	24
Tabla 6. Producción (ml/día) y composición de la leche (%MS)	26
Tabla 7. Indicadores de producción de CH ₄	28

ÍNDICE DE IMÁGENES

	<u>Página</u>
Imagen 1. Jaula de digestibilidad	12
Imagen 2. Suelo enrejillado de la jaula de digestibilidad con el cubo de recogida de orina	13
Imagen 3. Equipo de respirometría	17
Imagen 4. Urna de la de cámara de respirometría	18

RESUMEN

Se utilizaron diez cabras hembras de raza Murciano-Granadina en estado de lactación, con un peso medio de $43,9 \pm 3,2$ kg. Se realizaron dos pruebas de digestibilidad consecutivas mediante la administración de dos dietas que difirieron en el nivel de almidón: una rica en almidón y baja en fibra, y la otra baja en almidón y rica en fibra (para esta última dieta y con objeto de no penalizar el contenido energético, se sustituirá parte del almidón por grasa). La producción de metano (CH_4) se determinó por calorimetría indirecta mediante una urna de circuito abierto adaptada a pequeños rumiantes, donde el animal pasaba 24 horas mientras el equipo recogía datos.

No se observaron diferencias significativas para la relación metano a materia orgánica ingerida (valor medio de 16 g/g), utilizándose este índice como indicador del nivel de fermentación. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre ambas dietas para la producción de metano, con valores medios de $97 \text{ kJ/PV}^{0,75}$. El factor de conversión de metano fue de 4,1 % para la dieta fibrosa y medio punto superior para la dieta rica en almidón, por lo que ambas dietas se comportaron como dietas concentradas. Con la dieta fibrosa se obtuvieron 1,5 puntos más de grasa que con la dieta alta en almidón.

SUMMARY

Ten Murciano-Grenadina lactating goats were used, with an average weight of 43.9 ± 3.2 kg. There were two consecutive digestibility trials were conducted using two diets that differed in the level of starch: one with high content of starch and low of fiber and other with low content of starch and high of fiber (in the last one, part of the starch was replaced by fat, in order to not penalize the energy content). The production of methane (CH_4) was determined by indirect calorimetry using an open circuit urn adapted to small ruminants, where the animal spent 24 hours as the equipment collected data.

No significant differences were observed for the relationship methane - organic matter intake (average of 16 g/g), using this index as an indicator of the level of fermentation. There were also no significant differences between the two diets for the production of methane, with average values of $97 \text{ kJ/PV}^{0,75}$. The methane conversion factor

was 4.1% for fibrous diet and half point higher to diet rich in starch, so both diets worked as concentrate diets. With the fibrous diet, we obtained 1.5 points of fat milk more than the diet high in starch.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Calentamiento global y producción de gas por los rumiantes

En los últimos años ha crecido el debate y la polémica sobre el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, como resultado de la actividad humana en general, y de la ganadera en particular. Respecto al impacto de la ganadería, se emiten cantidades considerables de gases de efecto invernadero tales como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y clorofluorocarbonados (CFCs) contribuyendo así de forma importante al cambio climático. Después del CO₂, que es emitido principalmente por la combustión de combustibles fósiles, el CH₄ ocupa el segundo lugar en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial causados por las actividades humanas. Sin embargo, este segundo gas tiene la capacidad de atrapar 20 veces más calor que el CO₂ (Animut *et al.*, 2008). En la **Tabla 1** se observa el poder de captación de la radiación de algunos de los gases que componen la atmósfera.

Tabla 1. Poder de recalentamiento global (PRG), en miliequivalentes de CO₂, de diferentes gases con efecto invernadero en base a equivalentes-CO₂

GAS	PRG
Dióxido de carbono (CO₂)	1
Metano (CH₄)	21
Óxido nitroso (N₂O)	310
Clofluorocarbonados (CFC)	140 – 11.700

Fuente: Hacala (2006)

La ganadería es responsable de cerca del 23% de las emisiones de CH₄ globales de origen antropogénico (Khalil, 2000), causado en gran parte por los rumiantes, emitiendo

metano durante la digestión del alimento en el rumen. La contribución de la ganadería a las emisiones de CH₄ en España supera el 35%, considerando tan sólo la fermentación entérica. Incluyendo la gestión del estiércol, es responsable de casi un 60% del total de las emisiones de CH₄ (Ministerio de Medio Ambiente, 2007), tal y como se puede observar en la **Tabla 2**. Su concentración en la atmósfera ha aumentado rápidamente y se ha multiplicado por dos desde el comienzo de la Era Industrial (Moss *et al.*, 2000; IPCC, 2001; Wuebbles y Hayhoe, 2002).

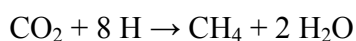
Tabla 2. Componentes de las emisiones de metano a la atmósfera (%)

COMPONENTES	%
Fermentación entérica	36,2
Vertederos, tratamientos de aguas residuales	31,0
Gestión de estiércol	23,8
Fugas de los combustibles	5,0
Actividades de combustión energética	2,9
Arrozales	0,8

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2007a)

Durante la digestión, los animales producen metano de forma natural, principalmente debido a los microorganismos del aparato digestivo, que fermentan el alimento consumido. El sustrato para estos procesos fermentativos son cadenas carbonadas procedentes principalmente de la hidrólisis de los hidratos de carbono del alimento, tanto de los carbohidratos de reserva (almidón) como de los hidratos de carbono estructurales que forman parte de la pared celular de las plantas (fracción fibrosa). En una segunda etapa, la flora microbiana fermenta los azúcares liberados, dando lugar como producto final a la formación de ácidos grasos volátiles, CO₂, CH₄ y calor, así como al crecimiento y proliferación de los propios microorganismos. El metano producido de esta fermentación resulta inerte tanto para la flora microbiana como para el animal, por lo tanto es un producto de desecho nutricional (O’Kelly y Spiers, 1992; Lana *et al.*, 1998), eliminándose principalmente por exhalación o eructo. Este CH₄ liberado representa entre el 2 y 11% de la energía bruta consumida por el rumiante (Johnson y Johnson, 1995).

La flora microbiana es extremadamente compleja, estableciéndose grupos de microorganismos en función del tipo de sustrato que fermentan. Un grupo de microorganismos anaerobios estrictos denominado “metanogénicos”, constituido por diferentes especies, es capaz de obtener energía reduciendo H₂ del gas del rumen y generando CH₄ como producto final:



El metano producido depende de diversos factores: tipo de animal (monogástrico o rumiante), estado fisiológico, nivel de alimentación y tipo de dieta (forraje, dieta mixta o concentrada). Siendo el tipo de animal y el tipo de dieta los factores más importantes.

La mayor parte de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica procede de los animales de especies herbívoras, especialmente de los rumiantes (por la elevada población de bacterias y protozoos productores de metano que habitan en el retículo-rumen (Crutzen *et al.*, 1986; Moss *et al.*, 2000) y en particular del ganado vacuno, que por su censo y tamaño relativo supone del orden del 60-75% del total (Van Soest, 1994; Vermorel, 1995; Johnson y Johnson, 1995; Ministerio de Medio Ambiente, 2007).

Alrededor de unos 80 millones de Mt de CH₄ se producen anualmente por la fermentación entérica del ganado, de la cual 730 g/kg se atribuye al ganado vacuno (Johnson y Jonson, 1995). 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 gas de efecto invernadero que se emite en las actividades ganaderas, que va 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 en la granja ha contribuido con un 58-66% en los gases de efecto invernadero (Veysset *et al.*, 2010).

Asumiendo una emisión ruminal de 9 kg de CH₄ por oveja al año (Mbanzamihiigo *et al.*, 2002) y 1.057 millones de ovejas y 677 millones de cabras en el mundo en 1996 (Morand-Fehr y Boyazoglu, 1999), las ovejas y cabras son las responsables de la emisión de unos 200 g/kg de CH₄ de la fermentación entérica. En el año 2009, en la UE-12, la producción de metano anual del ganado caprino fue de 5,00 Kg CH₄/cabeza, una

producción inferior a la del ganado vacuno en ordeño y ovino que produjeron 102 y 7,9 kg CH₄/cabeza, respectivamente.

El tipo de alimento es el otro factor determinante de las cantidades de metano producido por el rumiante, ya que es el substrato donde actuarán los microorganismos productores de metano. De este tema se hablará más adelante.

El CH₄ de la fermentación entérica de los rumiantes no es solo un importante gas de efecto invernadero asociado a problemas medioambientales, ya que también representa una pérdida de la energía del alimento (20-150 kJ/MJ de la ingesta; Johnson y Jonson, 1995; Singh *et al.*, 2005). Además, el desarrollo de estrategias alimentarias para minimizar la emisión de CH₄ es deseable a largo plazo para la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera y a corto plazo para los beneficios económicos.

1.2. Importancia de conocer Y_m para los inventarios de emisiones por los diferentes países

Las pérdidas de CH₄ se expresan normalmente como fracción de la energía bruta (EB), y a este término se le conoce como Y_m . Como se indica en las guías del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC 1996; IPCC 2006), el valor de Y_m depende de la calidad y la digestibilidad de las distintas dietas. Dada la relación negativa que existe entre el Y_m y la digestibilidad, se asume que a medida que aumenta la digestibilidad disminuye el Y_m . Los valores de Y_m que se encuentran en la bibliografía varían entre el 2% y el 12% de la energía ingerida para diferentes dietas (Johnson y Jonhson, 1995).

El IPCC proporciona ecuaciones de cálculo de las emisiones que dependen de una serie de factores, de los cuales el factor de conversión de metano (Y_m) es determinante. No obstante, en España es difícil obtener valores para Y_m , porque apenas se han realizado estudios al respecto y la alimentación de los rumiantes es muy intensiva, con raciones de alta digestibilidad, y en consecuencia menores emisiones de metano.

Para ganado caprino se recomienda un único valor de Y_m del 5% (Cambra-López *et al.*, 2008). No obstante, Aguilera y Prieto (1991) analizaron la producción de CH₄ en

ganado caprino, medida en cámaras de respirometría, y obtuvieron una serie de ecuaciones que estimaban la producción de CH₄ a partir de la composición nutritiva de la ración consumida. Estos autores consiguieron obtener un coeficiente de correlación elevado para algunas de las regresiones, con cabras alimentadas con raciones de heno de alfalfa y cebada, con digestibilidades entre el 47,3% y el 71,0%. En estos casos, los valores para Y_m varían entre el 4,97% y el 7,99%.

Moss *et al.* (1995) encontraron una relación lineal entre la digestibilidad de la materia orgánica y la pérdida de energía por metano (como % de EB) para un nivel de alimentación de 1,2 x mantenimiento. Para un nivel de alimentación de 1,6 x mantenimiento, ellos evidenciaron un aumento de las emisiones de metano (como % de EB) hasta una digestibilidad del 78%, y para altas digestibilidades una reducción del porcentaje de pérdidas como metano. Esto se explica por los efectos asociativos entre los componentes de la ración de ensilado y cebada, cuyo ratio de inclusión variaba para las diferentes digestibilidades. La insignificante menor tasa de emisión para las mayores digestibilidades puede deberse también por la reducción del contenido en fibra bruta en la ración, mientras que aumentarían los extractivos libres de nitrógeno, para así aumentar la digestibilidad.

Alrededor de un 90% de la variación de las pérdidas de energía bruta como metano se explican usando indicadores de composición del alimento tales como lignina (ADL), extracto etéreo (EE), almidón (Al) y proteína (PB), expresado como g/kg MS. Sobre un 11,6% de la energía digestible se pierde en forma de metano (Giger-Reverdin y Sauvant, 1998).

1.3. Estrategias para mitigarlo; la alimentación

Los rumiantes son (en parte) responsables de la destrucción de la capa de ozono y del calentamiento global en el planeta Tierra, debido a la liberación de cantidades considerables de metano a la atmósfera. No obstante, el tiempo de permanencia del metano en la atmósfera es reducido y, por tanto, se puede actuar a corto plazo disminuyendo su concentración. Parecen ser viables, tanto técnicamente como en la práctica, intervenciones en la alimentación ofrecida a los animales hacia una optimización del proceso de

fermentación ruminal y, consecuentemente, reducción de la producción de metano por cada animal (De Blas *et al.*, 2008).

El tipo de alimento es el sustrato donde actuarán los microorganismos productores de metano, y son varios los factores a los que hace referencia para reducir las emisiones. Respecto a la relación de concentrado y forraje en la ración, la alimentación con altas cantidades de concentrado respecto al forraje da lugar a una disminución del pH (acidificación) del contenido ruminal, con cambios en la composición de la flora microbiana. Esto ocurre por la mayor velocidad de fermentación del concentrado (Johnson y Johnson, 1995) y, por otro lado, por 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 rumia y de la entrada en el rumen de tampón fosfato y bicarbonato contenido en la saliva). Por tanto, se reduce la digestión de la fibra y se tiende hacia un tipo de fermentación acética en detrimento de la propiónica (Moss *et al.*, 2000). En conclusión, un aumento de la proporción de concentrado en la ración supone un descenso considerable en la concentración de hidrógeno, bacterias metanogénicas y, en definitiva, en la producción de CH₄ (Van Soest, 1994; Lana *et al.*, 1998).

En lo que se refiere al tipo de concentrado, implica cambios en la acidez ruminal, tipo de fermentación y cantidad de metano producido (Beauchemin y McGinn, 2005). 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. Sin embargo, en un estudio hecho por Islam *et al.* (2000), con la dieta rica en almidón se redujo el pH y la concentración de ácido propiónico, pero aumentó la de NH₃N, la del total de ácidos grasos volátiles, del ácido acético y del butírico. Resultados similares fueron encontrados en un estudio temprano usando diferentes dietas basadas en maíz y

alfalfa (Islam *et al.*, 2000). Esto se puede deber a la restricción en la ingesta de alimento de 0,9 y 1,6 veces la necesidades de mantenimiento. Esto sugiere que la inclusión de almidón en un nivel cercano al de mantenimiento no aumenta la producción de propionato y la menor concentración de propionato acaba en una mayor producción de CH₄. La menor concentración de ácido propiónico y la mayor producción de CH₄ apoyan la relación entre propionato y CH₄ (Orskov *et al.*, 1991).

En un estudio de Giger *et al.* (1988), se vio que el tipo de concentrado tiene efectos muy marcados en el pH ruminal, sobretodo si es rico en fibra altamente degradable o en constituyentes de los cereales, aunque los efectos son menos notables para el concentrado de fibra con baja digestibilidad. La dieta también tiene efectos sobre la proporción molar de ácido grasos volátiles. Comparando una dieta que contiene solo heno con otra dieta que contiene el mismo heno junto con el concentrado “bajo en fibra” rico en cereales se observa que el porcentaje de ácido propiónico no se modifica, mientras que aumenta significativamente el de butírico y se reduce el de acético. Los concentrados “altos en fibra” no modificaron la proporción de ácido acético, pero aumentaron la de propiónico cuando el concentrado tenía una alta digestibilidad de la materia orgánica y aumentaron el butírico cuando la digestibilidad de la materia orgánica del concentrado era pobre y contenía muchos subproductos de cereales.

Chandramoni *et al.* (2000) señalan que hay menos producciones de metano con dietas ricas en almidones que con dietas donde la fibra es preponderante.

En cuanto al tipo de forraje, el uso de fuentes de fibra poco lignificada (pulpa de remolacha, cascarilla de soja, etc.) implica una mayor tasa de fermentación y producción de metano que el de forrajes maduros o subproductos muy lignificados. El uso de fibras lignificadas se ha sugerido como forma de reducir las emisiones de metano (Kreuzer y Hindrichsen, 2006), existiendo así una relación positiva entre la digestibilidad del forraje y la cantidad de CH₄ producida.

El picado, la molienda y posterior granulación de los forrajes suponen un descenso de las emisiones de metano (especialmente si el forraje es de buena calidad), debido a la disminución del tamaño de sus partículas, suponiendo menor tiempo de permanencia en el rumen y una menor tasa de fermentación. 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.

Las emisiones de metano también pueden aumentar con la subida del contenido de fibra bruta (% respecto a la materia seca) de la ración hasta aproximadamente un 18% de fibra bruta, a partir de ahí va descendiendo para mayores contenido de fibra bruta (Pelchen y Peters, 1998). Las bacterias metanogénicas necesitan el hidrógeno derivado de la síntesis del ácido acético, que está relacionado con la celulosa de la ración; el aumento de la emisión de metano con el incremento del contenido en fibra bruta puede ser entonces explicado. Estos resultados se confirman por Wolin y Miller (1988) y Blaxter y Wainman (1964). Las reducidas emisiones de metano (g/día) para contenidos de fibra sobre un 18%, se pueden explicar por la depresión de la digestibilidad y consecuentemente queda también explicada la reducción de la ingesta de alimento, debido a los altos contenidos en fibra de la ración.

La emisión de metano aumenta con un incremento de la densidad energética en la ración, hasta 10,5 kJ/kg MS (Pelchen y Peters, 1998). Densidades energéticas mayores reducen drásticamente las emisiones de metano.

La adición a la ración de ácidos grasos, especialmente insaturados (Zhang *et al.*, 2008) y de cadena media (Lovett *et al.*, 2004; Jordan *et al.*, 2006; Beauchemin y McGinn, 2006), implica alteraciones de la composición de la flora microbiana que llevan a una disminución de la digestión de la fibra, favorecen la formación de propiónico y una menor producción de metano (Demeyer *et al.*, 1969; Van Soest, 1994; Johnson y Johnson, 1995).

Por último, en referencia a la suplementación con aditivos, según numerosos autores, el uso de antibióticos ionóforos (moléculas solubles en lípidos), como la monensina, reducen la relación acético-propiónico, la formación de H y la de metano hasta un 25%. No obstante, el uso de este tipo de aditivos no está autorizado por la UE y se ha investigado el uso de aditivos naturales por su efecto antimetanogénico.

La utilización de levaduras de las especies *Saccharomyces cerevisiae* o *Aspergillus oryzae* tiene efecto sobre la población ruminal, provocando una defaunación que 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.

1.4. Ganado caprino. Raza Murciano-Granadina

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 subcónico 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 (ACRIMUR, 2011).

Los sectores de ovino y caprino lechero poseen en España una importancia socio-económica indudable. En el caso del ganado caprino, nuestro país produjo 530.400 t de leche (MAAMA, 2012a) en el año 2009, lo que supone más del 30 % de la producción de leche de cabra de la Unión Europea y la sitúa como segundo país productor después de Francia (FAO, 2012). La producción de leche de cabra ha ido aumentando progresivamente en España (MAAMA, 2012a) desde al año 2004 (494.000 t) hasta alcanzar en el año 2009 las 530.000 t, para disminuir posteriormente en el año 2010 a 523.900 t.

Respecto al censo de cabras en ordeño publicado en las Encuestas Lácteas del MAAMA (2012b), el número de animales pasó de 1,35 millones en el año 2005 a 1,45 millones en el año 2006 para, a continuación, disminuir y mantenerse hasta el año 2010 en valores cercanos a 1,4 millones de cabezas.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es estudiar el efecto de la dieta sobre la producción de metano y el rendimiento lechero en cabras de raza Murciano-Granadina. Para ello se diseñarán 2 piensos; uno rico en almidón y bajo en fibra, y el otro bajo en almidón y rico en

fibra. Para este último pienso y con objeto de no penalizar el contenido energético, se sustituirá parte del almidón por grasa.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Localización y selección de animales

Los trabajos de campo se llevaron a cabo en la Granja Experimental del Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Politécnica de Valencia, mientras que los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de la Unidad de Alimentación de este mismo departamento. Las pruebas se desarrollaron en una zona cubierta ubicada en las instalaciones de la granja de pequeños rumiantes. Este recinto está especialmente dedicado a las pruebas de digestibilidad, valoración de alimentos y balances nutritivos.

Los animales fueron seleccionados bajo unos criterios de peso, estado de lactación y producción de leche previa y, número de lactación para obtener la mayor homogeneidad posible y con ello conseguir un menor efecto del individuo. Se seleccionaron 10 cabras hembras de la raza Murciano-Granadina de unos $43,9 \pm 3,2$ kg de peso vivo, en el cuarto mes de lactación. Para ello se pesó cada animal que se encontraba en el mismo estado de lactación con una báscula para pequeños rumiantes (Gruponor Cercampo S.A.) y se eligieron las que tuvieron pesos semejantes de un total de 45 cabras. Se anotó tanto el peso, la producción láctea como el número de identificación del animal.

3.2. Instalaciones

Para la preparación de las raciones se utilizaron cubos numerados y balanzas con un error de $\pm 0,1$ g. Las raciones se preparaban a medida que se necesitaban.

Los habitáculos donde se alojaban los animales de manera individual y para toda la fase experimental son las denominadas jaulas metabólicas, que se puede ver una de ellas en la **Imagen 1**. Están fabricadas en acero y sus medidas son de 53 x 96 x 143 cm. Están dotadas de comederos externos de tolva metálica, individuales y fáciles de extraer. Para evitar que los animales desplazaran los comederos, se colocaron unas cintas de goma

flexibles con anclajes, de modo que se evitó que se movieran y de esta forma lo tiraran o se pillaran las patas delanteras. Asimismo, cada jaula tiene un bebedero tipo cazoleta, con la conducción por la parte superior de las jaulas, separada de los animales por unas mallas metálicas que la protegen de los posibles mordisqueos. Disponen del agua a voluntad.



Imagen 1. Jaula de digestibilidad

Otra de las partes de las que consta la jaula metabólica es un suelo con dos tramos, uno liso donde se encuentra la cabra y puede tumbarse; y otro con un enrejado grosero para que las heces y la orina caigan a una rejilla fina que está debajo, la cual recogerá las heces y por la que escurrirá la orina a la bandeja en V que hay debajo; por ultimo, se conducirá la orina hacia un orificio para caer en un cubo donde quedará almacenada. Esto queda reflejado en la **Imagen 2**.



Imagen 2. Suelo enrejillado de la jaula de digestibilidad con el cubo de recogida de orina

3.3. Alimentación

Se calcularon las necesidades para cabras a mitad de lactación y utilizando el valor nutritivo de los alimentos según las tablas FEDNA (2011) se diseñaron 2 raciones. Como fuente forrajera se utilizó la alfalfa y como concentrado se fabricó un pienso compuesto (en la Fábrica de Piensos de la Unidad de Alimentación Animal) que fue peletizado. Los ingredientes y composición química de las dietas se encuentran en la **Tabla 3**. Las dos dietas fueron isoenergéticas e isoproteicas con objeto de mantener el rendimiento lechero de las cabras, y la principal fuente de variación se encontraba en el nivel de almidón (43% para la dieta A y 15% para la dieta F) y fibra neutro detergente (FND) de las raciones (17,53% para A y 38,78 para F). A la dieta con mayor contenido en almidón se la llamó A y a la que tenía mayor contenido en fibra F. La composición química de la alfalfa fue de: 15,18% de PB, 58,40% de FND, 38,41% de FAD, 19,21 MJ/kg MS. Las raciones se les proporcionaban dos veces al día, una a las 9:00 h de la mañana tras haber retirado por completo los restos de comida del día anterior y, la siguiente a las 15:30 h de la tarde.

Con la picadora de forraje de la fábrica de piensos se picó la alfalfa henificada para facilitar su ingesta y se cribó con un tamiz para deshacerse lo máximo posible del polvo del picado y así evitar estornudos o posibles afecciones, además de optimizar la ración a la hora de que los animales desechasen menos cantidad de comida.

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. Los animales que estaban alojados en las jaulas impares serían alimentados con el pienso rico en almidón. Mientras que las que estaban en las jaulas pares comían el pienso rico en FND. Las cantidades de pienso por día eran de 1.500 g, y se acompañaban con 1.100 g de alfalfa picada y cribada (es decir, una relación forraje concentrado de aproximadamente 40/60). Esta alimentación se mantuvo durante los 26 días (se incluye la semana previa de adaptación al pienso realizada en el corral) que duró la primera experiencia; tras los cuales se cambió, a lo largo de otros 19 días que duró la segunda experiencia, de manera que las cabras impares comían ahora el pienso rico en FND y las pares el rico en almidón.

Tabla 3. Ingredientes y composición química de los piensos

INGREDIENTES (%)	A	F
Maíz nacional	64,71	6,11
Soja 44	28,43	19,68
Salvado-ref	2,55	8,18
Alfalfa deshidratada	1,88	-
Cascarilla soja	-	30,00
Gluten feed 18	-	25,00
Grasa	-	3,50
Grasa by-pass	-	2,00
Melaza caña 44	0,20	4,00
Carbonato cálcico	1,50	0,73
Corrector crecimiento	0,40	0,40
Sal	0,33	0,40
COMPOSICIÓN QUÍMICA (% MS)		
MS	88,46	89,49
Cenizas	5,17	7,31
MO	94,83	92,69
PB	21,11	21,81
EE	3,94	8,71
FND	17,53	38,78
FAD	4,87	19,70
EB (MJ/kg MS)	18,42	19,53
Almidón	43,00	15,00

A: Dieta de almidón; F: Dieta de FND; MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; EE: extracto etéreo; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; EB: energía bruta.

3.4. Procedimiento experimental

A lo largo de todo el periodo de trabajo de campo se mantuvo colocada una sonda de temperatura (marca HOBBO y software BoxCarPro3), la cual nos proporcionaba datos de temperatura y humedad relativa de todo el día, ya que los animales se encontraban alojados en el exterior.

Las cabras se pesaron al principio y al final del periodo experimental. Cada experimento se dividía en tres fases que sumaban 18 días en total. Se repitió dos veces, por lo cual la duración fue de prácticamente un mes y medio, desde el comienzo hasta el final del trabajo de campo. Además, antes del inicio del experimento, los animales permanecían una semana dentro de la granja, divididos ya en sus grupos y separados del resto, para adaptarse a las dietas. Las fases fueron: adaptación (a la dieta y al alojamiento), de 8 días; digestibilidad, de 4 días; y respirometría, de 4 días, contando con un fin de semana entre la digestibilidad y la respirometría en el que no se llevó a cabo ninguna prueba. Pasadas estas tres fases y con ello la primera experiencia, se bajaron los animales de las jaulas y fueron pesados, tras lo cual se volvieron a subir manteniendo su orden de distribución, pero cambiando las raciones, es decir que las cabras impares pasaron a comer la ración que anteriormente fue para las pares y viceversa.

Adaptación: Esta fase es muy importante tanto para el bienestar de los animales como para la objetividad del experimento. Esto es porque los rumiantes necesitan un periodo de adaptación del rumen a los cambios de dieta de entre 7 y 10 días antes de poder realizar cualquier prueba. También es importante para la objetividad del trabajo dado que las cabras, tras este periodo, ya están habituadas a las jaulas, a los comederos y bebederos y sobre todo, a la manipulación y convivencia con las personas que van a trabajar con ellas. Otro objetivo de la adaptación es eliminar del tracto digestivo los restos de los alimentos consumidos con anterioridad. Esta fase se repitió no por la habituación al alojamiento, sino para que adaptara de nuevo el rumen al cambio de dieta. Durante este periodo no se recogía ninguna clase de muestras, sin embargo, si era necesario el ordeño diario y un mínimo control de la comida rehusada para observar la adaptación de los animales al alojamiento y a la dieta.

Digestibilidad aparente: Una vez las cabras ya están adaptadas y preparadas, se puede comenzar con la fase de la digestibilidad, en la que se controlaron diariamente los rehusados de la comida, las heces, la orina y la leche producida por cada animal, y se recogieron muestras de todos ellos.

El rehusado, es decir, la comida que quedaba en el comedero y la que había tirado el animal fuera del comedero, fue recogido diariamente en cubos para cada una de las cabras. Después fue pesado y se llevó a secar en bandejas a una estufa a 100°C, durante 24 horas para obtener la materia seca del mismo.

Por otro lado, las heces individuales de cada una de las cabras se recogieron a diario en cubos. Se pesaron y se congelaron muestras de heces de cada cabra a -20 °C en bolsas individuales y diarias durante cuatro días. Posteriormente se llevaron a secar a la estufa a 100°C, durante 24 horas. Cuando se sacaron las heces de la estufa se almacenaron en cubos individuales, incluyendo cada uno de ellos las muestras recogidas de heces de los cuatro días de cada cabra, para su posterior molido y análisis.

Asimismo, la orina también se recogió diariamente y de cada una de las cabras. Se recogían los cubos a los cuales se les había añadido 100 ml de ácido sulfúrico al 10 % para evitar pérdidas de nitrógeno amoniacal por volatilización. Se registraba el pH y el volumen de orina producida. Una vez se tenían los datos, se recogía una muestra de orina de 100 ml de cada cabra en botes y se llevaba a congelar a -20 °C hasta su posterior análisis.

Producción de leche: Dado que los animales se encontraban en lactación, se debía llevar a cabo el ordeño diario de los mismos. Para ello se contaba con una ordeñadora portátil (FLACO, 20-400 l/min), de 60 kg de capacidad, dotada de dos unidades de ordeño. Los datos de la producción lechera de cada cabra y día se hizo ordeñándolas individualmente y recogiendo su producción. La leche se iba embotellando y congelando diariamente, quedando al final una botella para los cuatro días y por animal. Se dejó congelada a -20 °C y almacenada hasta su análisis. Cabe destacar que se enviaron muestras de leche de cada cabra a un laboratorio de análisis de leche (LICOVAL), donde se realizó el análisis de la composición química.

Una vez terminada la operación del ordeño, se desinfectaban los pezones de cada cabra con yodo, con el fin de evitar problemas y/o infecciones. Para concluir, se limpiaba la

máquina de ordeño con una solución ácida o básica (días alternos) y se realizaban los enjuagues necesarios para eliminar los residuos de los limpiadores.

Respirometría: Para poder ejecutar las medidas respirométricas, se utilizó un equipo móvil de calorimetría indirecta de circuito abierto para pequeños rumiantes, el cual se ve en la **Imagen 3**.



Imagen 3. Equipo de respirometría

Este equipo consta de una “urna” colocada donde debería estar el comedero en una jaula de digestibilidad. El animal introduce la cabeza en esta urna y con una lona se cierra la entrada del animal alrededor del cuello para sellar la urna en la medida de lo posible. Esta urna tiene un cajón en la parte inferior que recoge el alimento y un cubo con agua. Más abajo, se puede ver una foto de ella en la **Imagen 4**. En la parte superior tiene dos orificios en los que hay conectados dos tubos. Uno es la toma de aire del exterior (el equipo se encuentra en un sitio cerrado y el extremo del tubo da a una ventana). El otro lleva el aire contenido en la urna al caudalímetro (Sensyflow VT-S, ABB S.A.) y de ahí a un ventilador centrífugo (CST60, Soler Palau S.A.). Entre el caudalímetro y el ventilador hay una pequeña bomba de membrana que extrae el aire que se desee muestrear. El caudalímetro trabajaba a un ritmo de 3.000 litros de aire/hora. Para la recogida de datos se utilizó un software que guardaba datos cada minuto. Como novedades respecto a otros trabajos, se

sustituyó la bolsa de recogida de aire espirado por la conexión directa al analizador de gases (Easyflow 3020, ABB S.A.) que registraba los porcentajes de O₂, CO₂ y CH₄, y la urna que hemos mencionado anteriormente sustituye a la máscara. El analizador estaba conectado a un ordenador, en el que se había diseñado un software, en entorno Labview, para la recogida de datos cada minuto.



Imagen 4. Urna de la de cámara de respirometría

Se muestreó tanto el aire atmosférico como el espirado por las cabras y se analizó sus concentraciones de O₂, CO₂ y CH₄ tanto en el aire atmosférico como en el espirado de 4 cabras, 2 por tratamiento (estas cabras eran las que habían mostrado mejor adaptación a las dietas y a las jaulas de digestibilidad). En la siguiente semana de respirometría (la de la segunda fase), volverían a someterse a las mismas cabras a la prueba de respirometría, pero en esta ocasión, las cabras estarían siendo alimentadas con la dieta contraria a la semana de respirometría de la primera fase. Antes de subir la cabra a la jaula de digestibilidad con la urna, se dejaba un tiempo para que el equipo hiciera blancos, es decir, que registrara las concentraciones de O₂, CO₂ y CH₄ (de éste último la concentración era prácticamente inexistente) del aire. Posteriormente, ya se subía a la cabra, se le introducía la cabeza en la urna, se le ataba la lona alrededor del cuello y se le introducían en el cajón la mitad de la ración que le tocaba en un día, además de un cubo con agua limpia. Todo esto se hacía entre las 9 y las 10 de la mañana. El resto de la ración se le aportaba en torno a las 15:30 hrs. Cabe decir que cada operación o movimiento que se realizaba (entrada a la sala de respirometría, bajar o subir a la cabra...) se anotaba junto a la hora a la que se había hecho,

para así tener controlado el motivo de si se produjese alguna variación en las concentraciones de los gases medidos por el analizador. Previo a las determinaciones experimentales, se pasaron gases patrón por el analizador.

3.5. Análisis químicos

La composición química de los piensos y la alfalfa se analizó por triplicado y la de las heces y rehusados por duplicado siguiendo los métodos oficiales de análisis de AOAC (2000). Se determinaron materia seca (MS), cenizas, extracto etéreo (EE), almidón y, según Van Soest *et al.* (1991), con la técnica de las bolsas de filtro ANKOM, la fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y los datos de MS, EE, PB y lactosa de la leche fueron facilitados por el laboratorio de análisis de leche LICOVAL. La concentración de energía de las dietas, materia fecal, orina y leche se determinó utilizando una bomba calorimétrica adiabática (Gallenkamp Autobomb). El análisis de nitrógeno de las raciones (piensos y alfalfa), las heces, los rehusados, la orina y la leche se realizó por el principio de Dumas mediante un equipo LECO (TruSpec CN; Leco Corporation, St. Joseph, MI, USA) en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (ETSIAMN) de la UPV.

3.6. Cálculos y análisis de datos

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

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

- Para realizar el balance energético hasta Energía Metabolizable Ingerida (EM_i) se procedió de la siguiente manera:

$$EM_i = EB_{\text{ingerida}} - (E_{\text{heces}} + E_{\text{orina}} + E_{\text{CH}_4})$$

El volumen de gas de metano se convierte en valores de energía usando el factor de conversión 39,4 kJ/l CH₄ (Islam *et al.*, 2000).

3.7. Cálculo de la producción de CH₄

- 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: $VN_2 \text{ in}$ = Volumen de nitrógeno inspirado (l/h)

$VN_2 \text{ es}$ = 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:

$$VCH_4 \text{ producido} = VCH_4 \text{ es} - VCH_4 \text{ in} \quad VCH_4 \text{ es} = V \text{ aire es} \times [CH_4] \text{ es}$$

Donde: $VCH_4 \text{ es}$ = Volumen de metano espirado (l/h)

$VCH_4 \text{ in}$ = 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 (%)

3.8. Análisis de datos

Se realizó un modelo lineal general (GLM) con la dieta y el periodo experimental como efectos fijos, y su interacción. Un test t se empleó para comparar las medias. El programa estadístico utilizado fue el JMP PRO versión9 (2010). El modelo que se utilizó para predecir la producción de metano fue:

$$Y_i = \mu + D_i + E_i + D_i \times E_i + \varepsilon_i$$

Donde: Y_i = Variable dependiente

μ = Media general

D_i = Efecto de la Dieta

E_i = Periodo Experimental

ε_i = Error aleatorio

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos relativos a la digestibilidad de las dietas se encuentran en la **Tabla 4**. Como se puede observar, ni el factor “Prueba” ni su interacción con el factor “Dieta” tienen efectos significativos sobre los coeficientes de digestibilidad entre las dos dietas. Aunque para los coeficientes de materia seca (MS) y materia orgánica (MO), la interacción “Dieta x Prueba” sí que tuvo efectos significativos ($P < 0,05$).

Tabla 4. Ingestión (kg MS/día) y coeficientes de digestibilidad (%) para las dietas de almidón (A) y FND (F)

	Medias			P-valor		
	Dieta		ESM	Dieta	Prueba	Dieta x Prueba
	A	F				
Ingestión	1,97	2,07	0,043	0,3302	0,8225	0,5673
MS	67,48	64,41	0,830	0,0448	0,3921	0,0449
MO	69,03	65,65	0,864	0,0329	0,3812	0,0435
FND	37,58	50,49	1,893	<0,0001	0,4968	0,1870
FAD	30,01	46,48	2,266	<0,0001	0,4610	0,4064
EB	68,77	67,04	0,911	0,3333	0,2902	0,1064
PB	69,85	70,91	0,753	0,4893	0,2332	0,2768
EE	66,35	83,92	2,370	0,0003	0,8672	0,8369
Almidón	99,09	99,62	0,090	0,8023	0,9423	0,7586

ESM: error estándar de la media; MS: materia seca; MO: materia orgánica; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; EB: energía bruta; PB: proteína bruta; EE: extracto etéreo

En la **Tabla 4**, se observa que no existen diferencias significativas ($P < 0,05$) en la ingestión, a pesar de que la dieta F contiene 20 puntos más de FND que la A. Según Luginbuhl *et al.* (2000), la ingesta de materia seca se reduce linealmente con el aumento de FND dietario (52,4 – 62,1%) en cabras de la raza Boer y sus cruces. Debido a que los componentes fibrosos fermentan y pasan por el reticulorumen más despacio que otros

componentes de la dieta, éstos tienen un importante efecto de llenado (Allen, 1996). El tamaño de partícula, la frecuencia de masticado y su efectividad, la fragilidad de las partículas, FND indigestible y las características de las contracciones del retículo afectan al “llenado” fisiológico (Allen, 1996). Una de las posibles razones de que no haya diferencias significativas en cuanto a la ingestión entre las dos dietas es porque ambas son isoenergéticas y la forma de suministro de la ración. Es decir, a los 2 grupos de cabras se les ofrecía la misma cantidad de forraje y las diferencias en cuanto a fibra y almidón residían en el concentrado que se suministró en forma de pellet, por lo tanto las cabras no podían seleccionar los ingredientes a consumir, y por tanto, parece que la ingestión estaba regulada más por las necesidades de las cabras en lactación que por el aspecto físico de la propia dieta.

Tanto en el coeficiente de digestibilidad (CD) de la MS como de la MO hubo diferencias significativas entre las dietas, siendo la dieta A la de mayor digestibilidad para estas fracciones. Una explicación a esta mayor digestibilidad de la MS y MO de la dieta A es que esta dieta era la que tenía mayor contenido en almidón (47,86% vs. 10,73%), valores reales de la ración como mezcla del forraje y del concentrado en forma de pellet).

En un estudio de Islam *et al.* (2000), se comparaban dos dietas, ambas peletizadas, que se diferenciaban en que una incluía un 50% de maíz y la otra no, manteniéndose las proporciones del resto de materias primas. La mayor digestibilidad de MS, MO, EE y ELN se da con la dieta con menor contenido en FB (141 g/kg MS), es decir, la que incluía el maíz. En este mismo estudio, la dieta rica en fibra (258 g FB/kg MS) tuvo una digestibilidad para la MS y la MO de 64,2 y 66,1, respectivamente, lo cual se asemeja a los CD de nuestra dieta F. Sin embargo, la dieta baja en fibra tuvo unas digestibilidades de 74,7% para MS y 76,6% para MO, superiores a los CD de nuestra dieta A.

En el trabajo de Rapetti *et al.* (2004) con cabras Saanen y una dieta basada en heno y un 60% de concentrado se obtienen valores ligeramente superiores, un 70,5% de media para el CD de la MS. Otros autores como Tovar-Luna *et al.* (2010) con cabras de raza Alpina, con un 60% de concentrado y en un estado tardío de la lactación obtuvieron valores más parecidos, un 67,4% para la MS y 69% para MO.

Cerrillo *et al.* (1999) en cabras secas Alpinas observaron mayores valores de digestibilidad de MS con una dieta con 50% almidón (84,0%) que con sólo heno de alfalfa

(82,7%), observándose mayor coeficiente de digestibilidad de MS, al igual que en nuestro experimento, con una dieta con mayor contenido en almidón.

También hubo diferencias significativas en los CD del la FND y de la FAD. En este caso, la dieta F fue la que tuvo CD más altos. Esto se puede deber a que como la dieta F tiene un mayor contenido en fibra, el tiempo de permanencia del alimento en el rumen es mayor, además de que se favorece el crecimiento de la microbiota celulolítica y también aumenta la salivación a través de la masticación y rumia. Debido a la capacidad tamponadora de la salivación, se aumenta el pH ruminal, lo cual favorece el crecimiento de la microbiota celulolítica (Lu *et al.*, 2005). Es decir, probablemente la velocidad de tránsito sea más lenta, de forma que el contenido fibroso de esta dieta se degrada con más intensidad que el de la dieta A que, por tener menos FND y más almidón, su tiempo de permanencia en el rumen sea menor y haya mayor población de bacterias amilolíticas que celulolíticas.

Rapetti *et al.* (2004) obtuvo un 61,1% en la digestibilidad del FND, mientras que Tovar-Luna *et al.* (2010) obtuvo un 39,4%. 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 F. Sanz Sampelayo *et al.* (1998) obtienen valores de 58,2%, más parecidos a la dieta F, también.

Está generalmente reconocido que aumentando la ingesta de fibra se reduce la digestibilidad de otros componentes de la dieta, excepto de la fibra, la cual frecuentemente aumenta su digestibilidad. Una baja ingesta de fibra transforma la población microbiana hacia un aumento de la producción de lactato en el rumen, bajando el pH ruminal y reduciendo la actividad celulolítica (Lu *et al.*, 2005). En las cabras lecheras en lactación alimentadas con dietas con un ratio de forraje/concentrado de 45:55 a 75:25, la digestibilidad aparente de la materia seca se redujo de 74,5 a 61,0% (Kawas *et al.*, 1991). Por otra parte, la digestibilidad aparente del FND aumentó de 43,4 a 55,0%. En las cabras lecheras en lactación alimentadas con dietas con un contenido en FAD de 14 a 26%, las digestibilidades aparentes de materia seca y energía solo se redujeron levemente, mientras que la del FAD fue esencialmente la misma en todos los tratamientos (Santini *et al.*, 1992).

En el caso de los CD de la energía bruta (EB) y de la proteína bruta (PB) no hubo diferencias significativas entre las dietas, siendo los valores medios para las dos dietas de 67,91% y 70,38%, para CDEB y CDPB, respectivamente. El que no haya diferencias significativas entre las dos dietas puede ser debido a que ambas eran isoenergéticas e isoproteicas.

Rapetti *et al.* (2004) obtuvieron una digestibilidad de la EB de un 70,0%, mientras que en el trabajo de Tovar-Luna *et al.* (2010) se obtuvo una digestibilidad de un 67,7%, muy parecida a la estudiada en este trabajo (68,77 y 67,04% para las dieta A y F, respectivamente).

La digestibilidad de la grasa o extracto etéreo (EE) varía significativamente ($P < 0,05$) entre las dos dietas, siendo superior para la dieta F (83,92%). Esto puede ser debido a que con esta dieta se da un mayor tiempo de retención del alimento en el rumen (por el alto contenido en fibra) y, por tanto, un mayor trabajo de éste.

Por último, en cuanto al almidón, no hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) para la digestibilidad de las dos dietas, siendo la digestibilidad media de un 99,36%. Esta digestibilidad tan alta se debe a que el almidón, procedente de los granos de cereal molidos para hacer el pellet, es un componente que se degrada muy fácilmente en el rumen.

En la **Tabla 5** se muestran los cálculos del balance energético.

Tabla 5. Peso vivo (PV, kg) y balance energético (kJ/PV^{0,75}) hasta energía metabolizable

	Medias			P-valor		
	Dieta		ESM	Dieta	Prueba	Dieta x Prueba
	A	F				
PV	43,93	43,90	0,675	0,9865	0,5108	0,9323
EB_i	2186,38	2356,93	62,302	0,2023	0,8793	0,7130
ED_i	1493,79	1566,95	38,664	0,3670	0,7320	0,2699
E_{orina}	23,55	48,46	4,543	0,0024	0,1980	0,1742
E_{CH4}	98,75	95,23	1,323	0,2152	0,8254	0,7309
EM_i	1371,49	1423,27	37,482	0,5142	0,6368	0,3223

A: Dieta de almidón; F: Dieta de FND; ESM: error estándar de la media; EB_i: energía bruta ingerida; ED_i: energía digestible ingerida; E_{orina}: energía de la orina; E_{CH4}: energía del metano; EM_i: energía metabolizable ingerida

Para estos datos del balance energético el único efecto significativo es el factor “Dieta”, ya que para el factor “Prueba” y su interacción con el factor “Dieta” todos los *P*-valores son mayores de 0,05.

No hubo diferencias significativas en el peso vivo de los animales ($P > 0,05$), siendo el PV medio de todos los animales de 43,92 kg

En cuanto a la energía bruta ingerida (EB_i), las cabras con la dieta F ingirieron aproximadamente un 7,2% más de energía que con la dieta A. Aunque estas diferencias no fueron significativas. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre las dietas para la energía digestible ingerida (ED_i) ni energía metabolizable ingerida (EM_i), al igual que en el estudio de Islam *et al.* (2000), entre dos dietas con diferente nivel de FB.

Nuestros valores medios de EM fueron de 1.397,38 kJ/PV^{0,75}. En el trabajo de Aguilera *et al.* (1990) con cabras Granadinas en mitad-fin de lactación, durante 2 lactaciones consecutivas y alimentadas con una dieta basada en heno de alfalfa peletizada y cebada en grano, se obtienen valores de EM_i que oscilan entre 628 y 1.050 kJ/kg PV^{0,75}. Otros autores, como Tovar-Luna *et al.* (2010), con razas más seleccionadas, como la Alpina, obtienen valores medios de EM_i durante el fin de la lactación de 753 kJ/kg PV^{0,75} para cabras alimentadas con un 20% de concentrado y 1.190 kJ/kg PV^{0,75} cuando las cabras recibían un 60% de concentrado.

Sólo para la energía contenida en la orina (E_{orina}) existen diferencias significativas entre las dietas, siendo la energía perdida en forma de orina de las cabras alimentadas con la dieta F superior a la de las cabras alimentadas con la dieta A (48,46 vs. 23,55 kJ/ PV^{0,75}), debido probablemente al mayor trabajo fermentativo y digestivo de la dieta más alta en fibra. Resultados similares se encuentran en el trabajo de Islam *et al.* (2000), en el que con la dieta más fibrosa también hubo mayores pérdidas en forma de orina (43,69 kJ/ PV^{0,75}) que con la dieta menos fibrosa (29,13 kJ/ PV^{0,75}).

No hubo diferencias significativas respecto a la energía perdida en forma de metano (E_{CH_4}); con un valor medio de 96,99 kJ/PV^{0,75}. Los valores obtenidos estaban dentro del rango encontrado por Aguilera *et al.* (1990), desde 89 a 117 kJ/kg PV^{0,75} para hembras en lactación de raza Granadina, estando las dietas basadas en heno de alfalfa peletizada y

cebada. Aunque no hubo diferencias significativas en cuanto E_{CH_4} , la dieta A fue numéricamente superior a la dieta F.

En la **Tabla 6** se muestran la producción de leche y su composición. No hubo diferencias significativas ni en la producción, ni en el contenido de proteína y lactosa de la leche, pero sí en el contenido de MS y de grasa, siendo la leche de las cabras alimentadas con la dieta F la que tuvo valores superiores a los de la leche de las cabras de la dieta A (16,65 vs. 15,35% de MS, 7,08 vs. 5,50% de grasa; para las dietas F y A, respectivamente).

Tabla 6. Producción (ml/día) y composición de la leche (%MS)

	Medias			P-valor		
	Dieta		ESM	Dieta	Prueba	Dieta x Prueba
	A	F				
Producción	2.168,00	2.038,00	81,573	0,4544	0,3550	0,7564
MS	15,35	16,65	0,306	0,0098	0,2002	0,8525
Grasa	5,50	7,08	0,256	0,0008	0,4610	0,9147
Proteína	4,09	4,03	0,091	0,7569	0,2907	0,5294
Lactosa	4,75	4,74	0,062	0,9231	0,0967	0,5278

A: Dieta de almidón; F: Dieta de FND; ESM: error estándar de la media; MS: materia seca

Valores obtenidos por Aguilera *et al.* (1990) con cabras granadinas están en torno a 1.298,34 ml/día de media, con un contenido de grasa media de 5,9%. Tovar-Luna *et al.* (2010) con cabras Alpina en la fase final de la lactación obtienen producciones de 2102,7 ml/día de leche con un contenido graso de 3,9%. 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 1.414 ml/día.

En otras publicaciones como las de Rapetti *et al.* (2004), se determina una composición en la leche de 3,32% de proteína, 3,24% de grasa, 4,38% en lactosa y una producción media de 3577 ml/día, teniendo en cuenta que, en sus trabajos se utilizó una dieta basada en heno y concentrado y los animales se encontraban en un estado de lactación medio; con cabras de raza Saanen, animales mas productivos. Sus resultados, en cuanto a composición química, son inferiores a los obtenidos en este trabajo dado que su producción es mayor.

La naturaleza del carbohidrato en la ración tiene solo un efecto indirecto en la composición de la leche de cabra, a través de su impacto en la ingesta energética (Morand-Fehr, *et al.*, 1991). Una dieta alta en fibra conlleva una alta actividad masticadora, lo cual aumenta la salivación y favorece el crecimiento de microorganismos celulolíticos y la producción de ácido acético. Un alto ratio de acetato/propionato en el líquido ruminal favorece la síntesis de grasa en la leche, ya que el acetato es el principal precursor de la grasa de la leche (Lu *et al.*, 2005). Esto explicaría el mayor contenido en grasa de la leche de la dieta F. Por otra parte, la 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 debido al mayor contenido en almidón de esta dieta.

Un bajo contenido en lignina con un bajo nivel de FND dietario contribuye a la depresión de la grasa de la leche. Un aspecto a destacar es que las dietas con bajo nivel de fibra no siempre conllevan una reducción del contenido graso, incluso cuando la masticación también se vea reducida (Colebrander *et al.*, 1991).

Además, generalmente, las grasas añadidas en la ración acaban incrementando la secreción lipídica en la leche (Morand-Fehr, *et al.*, 1991), y en nuestra dieta F se había añadido un 5,5 % de grasa (normal + *by pass*) para así hacer a las dos dietas isoenergéticas.

Por ello, es por lo que nuestra estrategia de sustituir almidón por grasa en la dieta (dieta F) resulta más beneficiosa que la otra estrategia de sustituir fibra por almidón (dieta A). Al menos en los que respecta a la composición de la leche, ya que de esta forma el ganadero obtendría mayores beneficios económicos.

Los valores de producción de metano obtenidos por nosotros se encuentran en la **Tabla 7**. Existen diferencias significativas ($P < 0,005$) entre las dos dietas para los indicadores de producción de metano relativos a la EB_i y la FND. Para el resto, relacionados con la producción de metano diaria o relativa a la materia orgánica o producción de leche no existen diferencias significativas.

La dieta A, que tenía menor contenido en FND y mayor concentración de almidón que la dieta F, según estos indicadores, es con la que numéricamente mayor producción de metano se obtiene, pero las diferencias no fueron significativas.

Tabla 7. Indicadores de producción de CH₄

CH ₄	Medias			P-valor		
	Dieta		ESM	Dieta	Prueba	Dieta x Prueba
	A	F				
l/día	42,51	40,96	0,392	0,0541	0,6001	0,5073
kJ/día	1680,77	1619,65	15,480	0,0541	0,6001	0,5073
g/día	30,20	29,10	0,278	0,0541	0,6001	0,5073
kJ/PV^{0,75}	98,75	95,23	1,323	0,2152	0,8254	0,7309
Y_m (%)	4,61	4,06	0,132	0,0449	0,8064	0,6588
kJ/kJ ED_i (%)	6,75	6,09	0,193	0,0867	0,4226	0,2399
g/g FND_i (%)	4,46	2,98	0,202	<0,0001	0,7814	0,6664
g/g FND_d (%)	11,96	5,93	0,729	<0,0001	0,9360	0,1427
g/kg MO_i (%)	16,80	15,49	0,453	0,1771	0,8112	0,6577
g/kg MO_d (%)	24,41	23,59	0,663	0,5531	0,5557	0,2033
l/l leche	20,95	20,35	1,181	0,8111	0,3411	0,7064

A: Dieta de almidón; F: Dieta de FND; ESM: error estándar de la media; $Y_m: \frac{E_{CH_4} (kJ)}{EB_i (kJ)} \cdot 100$; ED_i:

energía digestible ingerida; FND_i: fibra neutro detergente ingerida; FND_d: fibra neutro detergente digerida; MO_i: materia orgánica ingerida; MO_d: materia orgánica digerida

La dieta más fibrosa fue la que obtuvo menor Y_m (5,31% vs. 7,00%), aunque en nuestro caso, a pesar de existir diferencias significativas, las diferencias entre las 2 dietas no fueron numéricamente tan elevadas como las de Islam et al. (2000); así nuestros valores fueron respectivamente de 4,6 y 4,1 para la dieta A y F. Islam *et al.* (2000) encontraron diferencias significativas en la Y_m, también conocida como RCM (ratio de conversión de metano, % EB_i) entre las dos dietas de su experimento, las cuales variaban principalmente en el contenido en FB, ya que una llevaba un 30% de maíz y la otra nada.

Bhatta *et al.*, (2008) observaron con cabras Japonesas y 19 raciones mixtas un rango para Y_m de 5,0 a 8,2. El IPCC (2006) calculó las emisiones de CH₄ como el 6,5±1% de la EB_i excepto si las dietas contenían más del 90% de grano, en cuyo caso el 3±1% de la EB_i se perdía en forma de CH₄. A pesar del reciente número de investigaciones que se están llevando a cabo en este área, conviene señalar que los conocimientos están lejos de ser definitivos debido a la complejidad del sistema ruminal (Moss *et al.*, 2000).

En un estudio hecho en ovejas por Pelchen y Peters (1998), se obtiene que las emisiones de metano (g/día) aumentan al incrementarse la digestibilidad de la ración, hasta

llegar a cierto punto en que las emisiones de metano se reducen de forma insignificante. Eso podría explicar la mayor emisión de metano en g/kg MO_d de la dieta A respecto a la dieta F (aunque no se encuentren diferencias significativas), debido a que la primera tuvo una digestibilidad mayor de la MO, como se puede ver en la **Tabla 4**.

Aunque la ingestión y la digestibilidad de FND son mayores con la dieta F, la producción de metano por unidad de FND_i o FND_d es mayor con la dieta A. Esto se puede deber a que la dieta F tenía un alto contenido en grasa (8,71% GB), que con el objetivo de conseguir las 2 dietas isoenergéticas, se incorporó grasa a la dieta con mayor contenido en fibra. Varios autores han señalado que la adición de grasa a la ración implica alteraciones de la composición de la flora microbiana que se traducen en una disminución de la digestión de la fibra y favorecen la formación de propiónico y una menor producción de metano (Demeyer *et al.*, 1969; Van Soest, 1994; Johnson y Johnson, 1995). Estos autores sugieren no sobrepasar el 10% de grasa en la ración (siempre que parte de esa grasa sea protegida), ya que parte de los ácidos grasos liberados en el rumen inhiben la digestión de la fibra, debido a que la grasa actúa como una capa protectora sobre el material vegetal impidiendo que las bacterias se fijen a las partículas fibrosas.

Por tanto, como argumenta De Blas *et al.* (2008) existe una relación negativa entre grasa y producción de CH₄ que se puede deber a la competencia por el hidrógeno generado en el rumen para la saturación de los ácidos grasos, reduciendo su disponibilidad para la formación de CH₄ por las bacterias metanogénicas. Como consecuencia disminuirá la digestibilidad ruminal del sustrato fibroso (como hemos comentado anteriormente, por formación alrededor de estas partículas una capa o película de grasa que impida que las bacterias accedan a ellas y las degraden), reduciéndose la producción de acético y liberando menos hidrógeno para la producción de metano.

Con las dos dietas se consigue reducir la emisión de metano, ya que sus valores de Y_m son típicos de dietas concentradas (4,3 de media). El metano representa entre el 2 (dieta basada en grano de cereal) y 11% (dieta forrajera) de la energía bruta consumida por el rumiante (Johnson y Johnson, 1995). Además, la estrategia de sustituir almidón por grasa ha resultado más favorable que la de sustituir fibra por almidón, ya que al mismo tiempo que se reducen las emisiones de metano también obtenemos mejores rendimientos productivos (mejora la composición de la leche, principalmente el contenido graso). Por

otro lado, reducimos la incorporación de cereales en la dieta y, por tanto, la posible competencia por el cereal por parte de la alimentación humana y los animales monogástricos. Aunque habría que estudiar en un futuro cuál es el tipo de grasa más beneficiosa y cuál es el nivel más adecuado de inclusión de grasa en la dieta.

5. CONCLUSIONES

Se ha comparado el efecto sobre la producción de metano y rendimientos productivos de una dieta rica en almidón y baja en fibra con otra dieta rica en fibra y pobre en almidón en ganado caprino lechero.

- No se han observado diferencias significativas para la relación metano a materia orgánica ingerida (valor medio de 16 g/g), utilizándose este índice como indicador del nivel de fermentación.
- No se han encontrado diferencias significativas entre ambas dietas para la producción de metano, con valores medios de $97 \text{ kJ/PV}^{0,75}$.
- El factor de conversión de metano fue de 4,1 % para la dieta fibrosa y medio punto superior para la dieta rica en almidón.
- Con la dieta fibrosa se obtuvieron 1,5 puntos más de grasa que con la dieta alta en almidón.
- La dieta fibrosa es la que mejor se ha comportado en términos de producción de metano y rendimiento lechero, probablemente ligado a la sustitución de parte del almidón por grasa.

6. BIBLIOGRAFÍA

ACRIMUR. 2011. Asociación Española de Criadores de la Cabra Murciano-Granadina. Disponible en: <http://www.acrimur.es>

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

Allen, M. S. 1996. *Physical Constraints on Voluntary Intake of Forages by Ruminants.* Journal Animal Science, 74: 3063–3075.

Animut, G.; Puchala, R.; Goetsch, A. L.; A.K. Patra, A. K.; Sahu, T.; V.H. Varel, V. H.; Wells, J. 2008. *Methane Emission by Goats Consuming Diets with Different Levels of Condensed Tannins from Lespedeza*. *Animal Feed Science and Technology*, 144: 212–227.

AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis of the AOAC International*. 17th Ed. Association of Official Analytical Chemist. Arlington, USA.

Beauchemin, K.A.; McGinn, S.M. 2005. *Methane Emissions from Feedlot Cattle Fed Barley or Corn Diets*. *Journal Animal Science*, 83: 653-661.

Beauchemin, K. A.; McGinn, S. M. 2006. *Methane Emissions from Beef Cattle: Effects of Fumaric Acid, Essential Oil, and Canola Oil*. *Journal Animal Science*, 84: 1489-1496.

Bhatta, R.; Enishi, O.; Takusari, N.; Higuchi, K.; Nonaka, I.; Kurihara, M. 2008. *Diet Effects on Methane Production by Goats and a Comparison between Measurement Methodologies*. *Journal Agricultural Science*, 146: 705-715.

Blaxter, K. L.; Wainman, F. W. 1964. *The Utilization of the Energy of Different Rations by Sheep and Cattle for Maintenance and for Fattening*. *Journal of Agricultural Science*, 63: 113-128.

Cambra-López, M.; García Rebollar, P; Estellés, F; Torres, A. 2008. *Estimation of Emissions from Ruminants in Spain: the Methane Conversion Factor*. *Archivos de Zootecnia*, 57: 89 – 101.

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.

Colenbrander, V. F.; Noller, C. H.; Grant, R. J. 1991. *Effect of Fibre Content and Particle Size of Alfalfa Silage on Performance and Chewing Behavior*. *Journal Dairy Science*, 74: 2681–2690.

Crutzen, P. J.; Aselman, I. and Seiler, W. 1986. *Methane Production by Domestic Animals, Wild Ruminants, other Herbivorous Fauna, and Humans.* Tellus, 38: 271-284.

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

De Blas, C.; García-Rebollar, P.; Cambra-López, M.; Torres, A.G. 2008. *Contribución de los Rumiantes a las Emisiones de Gases con Efecto Invernadero.* XXIV Curso de especialización FEDNA, p. 121-150.

Demeyer, D. I.; Van Nevel, C. J.; Henderickx, H. K.; Martin, J. 1969. En: *Energy Metabolism of Farm Animals.* K.L. Blaxter, J. Kielanowsky, G. Thorbek (Eds). European Association for Animal Production, 12: 139-147.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2012. Estadísticas de FAOSTAT para Leche de Cabra (Fresca) para 2010. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/569/DesktopDefault.aspx?PageID=569#ancor>

Giger, S.; Sauvant, D.; Durand, M.; Hervieu, J. 1988. *Influence de la Nature de l'Aliment Concentré sur Vuelques Paràmetres de la Digestion dans le Rumen.* Reprod. Nutr. Dévelop., 28: 117-118.

Giger-Reverdin, S.; Sauvant, D. 1998. En *Sheep and Goat Nutrition: Intake, Digestion, Quality of Products and Rangelands.* Morand-Fehr, P.; Ledin, I. 8° Seminar of the Sub-Network of the FAO-CIHEAM Inter-Regional Cooperative Research and Development Network on Sheep and Goats. Sept. 3-5, Grignon (Francia). Vol. 52: 43-46

Hacala. 2006. *Les Ruminants et le Réchauffement Climatique.* Institut de l'Élevage Adame. Octubre. 141 pp.

IPPC. 1996. Revised 1996 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Chapter 4. Agriculture. IPPC/OECD/IEA. Paris, 140 pp.

IPCC. 2001. En: J.T. Houghton (Eds.). *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).* Cambridge University Press. Ginebra, 944 pp.

IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Volume 4. Agriculture, forestry and land use. IGES. Kanagawa, Japón, 10: 1-87.

Islam, M.; Abe, H.; Hayashi, Y.; Terada, F. 2000. *Effects of Feeding Italian Ryegrass with Corn on Rumen Environment, Nutrient Digestibility, Methane Emission, and Energy and Nitrogen Utilization at Two Intake Levels by Goats.* Small Ruminant Research, 38: 165-174.

Johnson, K. A. y Johnson, D. E. 1995. *Methane Emissions in Cattle.* Journal Animal Science, 73: 2483-2492.

Jordan, E.; Lovett, D. K.; Monahan, F. J.; Callan, J.; Flynn, B.; O'Mara, F. P. 2006. *Effect of Refined Coconut Oil or Copra Meal on Methane Output and on Intake and Performance of Beef Heifers.* Journal Animal Science, 84 (1): 162-170.

Kawas, J. R.; Lopes, J.; Danelon, D. L.; Lu, C. D. 1991. *Influence of Forage-to-Concentrate Ratios on Intake, Digestibility, Chewing, and Milk production of Dairy goats.* Small Ruminant Research, 4: 11-18.

Khalil, M. A. K. 2000. En: M.A.K. Khalil (Ed.) *Atmospheric Methane, its Role in the Global Environment.* Springer-Verlag. Berlín, p. 1-8.

Kreuzer, M.; Hindrichsen, I. K. 2006. *Methane Mitigation in Ruminants by Dietary Means: The Role of their Methane Emission from Manure.* International Congress Series, 1293: 199-208.

Lana, R. P.; Russell, J. B. y Van Amburgh, M. E. 1998. *The Role of pH in Regulating Ruminal Methane and Ammonia Production.* Journal Animal Science, 76: 2190-2196.

Lovett, D. K.; Bortolozzo, A.; Conaghan, P.; O'Kiely, P.; O'Mara, F. P. 2004. *Vitro Total and Methane Gas Production as Influenced by Rate of Nitrogen Application, Season of Harvest and Perennial Ryegrass Cultivar.* Grass and Forage Science, 59: 227-232.

Lu, C. D.; Kawas, J. R.; Mahgoubc, O. G. 2005. *Fibre Digestion and Utilization in Goats.* Small Ruminant Research, 60: 45-52.

Luginbuhl, J. M.; Poore, M. H.; Conrad, A. P. 2000. *Effect of Level of Whole Cottonseed on Intake, Digestibility, and Performance of Growing Male Goats Fed Hay-Based Diets.* Journal Animal Science, 78: 1677-1683.

MAAMA. 2012a. Estadísticas Lácteas, Resultados 2001 a 2010. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.marm.es/es/estadistica/temas/estadisticalactea/estadisticalacteaanual/default.aspx#para45>

MAAMA. 2012b. Encuestas Ganaderas, Resultados 2002 - 2010. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.marm.es/es/estadistica/temas/encuestas-ganaderas/#para7>

Mbanzamihigo, L.; Fievez, V.; da Costa Gomez, C.; Piattoni, F.; Carlier, L.; Demeyer, D. 2002. *Methane Emission from the Rumen of Sheep Fed a Mixed Grass-Clover Pasture at Two Fertilisation Rates in Early and Late Season.* Canadian Journal Animal Science, 82: 69–77.

Ministerio de Medio Ambiente. 2007a. *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. Años 1990 – 2005.* Comunicación a la Comisión Europea. Decisiones 280/2004/CE y 2005/166/CE. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 330 pp.

Morand-Fehr, P.; Bas, P.; Blanchart, G.; Daccord, R.; Giger-Reverdin, S.; Gihad, E. A.; Hadjipanayiotou, M.; Mowlen, A.; Remeuf, F.; Sauvant, D. 1991. En *Goat Nutrition.* Morand-Fehr, P. Ed. Pudoc Wageningen EAAP, Publ 46. pp 209-224.

Morand-Fehr, P.; Boyazoglu, J. 1999. *Present State and Future Outlook of the Small Ruminant Sector.* Small Rumin. Res., 34: 175–188.

Moss, A. R.; Givens, D. I.; Garnsworthy, P. C. 1995. *The Effect of Supplementing Grass-Silage with Barley on Digestibility, in-sacco Degradability, Rumen Fermentation and Methane Production in Sheep at Two Levels of Intake.* Animal Feed Science Technology, 55: 9-33.

Moss, A.R.; Jouany, J.P. and Newbold, J. 2000. *Methane Production by Ruminants: its Contribution to Global Warning.* Animal Zootechnology, 49: 231-253.

Mota, M.; Balcels, 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): 44–51.

O’Kelly, J. C. y Spiers, W. G. 1992. *Effect of Monensin on Methane and Heat Productions of Steers Fed Lucerne Hay.* Australian Journal Agricultural Research, 43: 1789-1793.

Orskov, E.;R., MacLeod, N. A.; Nakashima, Y. 1991. *Effect of Different Volatile Fatty Acid Mixtures on Energy Metabolism in Cattle.* Journal Animal Science, 69: 3389-3397.

Pelchen, A.; Peters, K. J. 1998. *Methane Emissions from Sheep.* Small Ruminant Research, 27: 137-150.

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.

Santini, F. J.; Lu, C. D.; Potchoiba, M. J.; Fernandez, J. M.; Coleman, S. W. 1992. *Dietary Fibre and Milk Yield, Mastication, Digestion and Rate of Passage in High Alpine Goats Fed Alfalfa Hay.* Journal Dairy Science, 75: 209–219.

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 Dairy Science, 81: 492-498.

Singh, G. P.; Nagpal, A. K.; Sainj, N. 2005. *Methane Production in Relation to Productivity of Livestock and Environment: a Review.* Indian Journal Animal Science, 75: 143–148.

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, L. 2010. *Effects of Stage of Lactation and Dietary Concentrate Level on Eenergy Utilization by Alpine Dairy Goats.* Journal Dairy Science, 93: 4818-4828.

Van Soest, P.J.; Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. *Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Non Starch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition.* Journal Dairy Science, 74: 3583-3597.

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2^o Ed. Comstock. Cornell University Press., 476 pp.

Vermorel, M. 1995. *Emissions Annuelles de Methane d'Origine Digestive par les Bovins en France. Variations selon le Type d'Animal et le Niveau de Production.* Productions Animales, 8, 4: 265 – 272.

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.

Wolin, M. J., Miller, T. L. 1988. En *The Rumen Microbial.* Hobson, P. N. (Ed.): 343-359.

Wuebbles, D. J. y Hayhoe, K. 2002. *Atmospheric Methane and Global Change.* Earth-Science Review, 57: 177-210.