



Universitat Autònoma de Barcelona

Departament de Ciència Animal i dels Aliments

**EL USO DE ADITIVOS ZOOTÉCNICOS EN
PEQUEÑOS RUMIANTES EN SISTEMA
INTENSIVO Y CONDICIONES DE CAMPO**

Sara Cavini

Bellaterra, Septiembre 2014

**EL USO DE ADITIVOS ZOOTÉCNICOS EN PEQUEÑOS RUMIANTES
EN SISTEMA INTENSIVO Y CONDICIONES DE CAMPO**

Tesis doctoral presentada por
SARA CAVINI

Dirigida por
DR. SERGIO CALSAMIGLIA BLANCAFORT

Realizada en el
DEPARTAMENT DE CIÈNCIA ANIMAL I DELS ALIMENTS

Para acceder al grado de Doctor en
el programa de Producción Animal de la
UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

Bellaterra, Septiembre 2014

SERGIO CALMIGLIA BLANCAFORT, como Catedrático del *Departament de Ciència Animal i dels Aliments* de la *Facultat de Veterinària* de la *Universitat Autònoma de Barcelona*,

CERTIFICO:

Que la memoria titulada **“El uso de aditivos zootécnicos en pequeños rumiantes en sistema intensivo y condiciones de campo”**, presentada por **Sara Cavini**, ha sido realizada bajo mi dirección y, considerándola finalizada, autorizo su presentación para que sea juzgada por la comisión correspondiente.

Y para que conste a los efectos que correspondan, firmo al presente certificado en Bellaterra, 15 de Septiembre 2014.

Edificio V, Campus UAB – 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)
Barcelona, España

Tel: 93 581 10 91. Fax: 93 581 20 06
d.c.animal.aliments@uab.es
www.uab.es

AGRADECIMIENTOS

Ha sido difícil llegar aquí. Si volviera atrás no lo repetiría. Pero bueno, aquí estoy, y no es sólo gracias a mí.

He conocido a muchas personas durante esta experiencia que merecen ser agradecidas. Lo haré en orden alfabético, y en la mayoría de los casos, destacando lo que más me ha impactado de esta gente, guste o no guste.....

Quiero dar las gracias a:

- Alfred, por la seva calma contagiosa
- A mine, por ser idealista
- Ana, por su belleza exterior e interior
- Andreas, por saber combinar ambición, liderazgo y altruismo
- Arturo, por su felicidad
- Blas, por su amor a su perrita

- C arme, por su ternura
- C ecilia y M arta, por las ecos
- C helo, M aria, L aia y P ol, por apoyarme como una familia
- D avid, per soffrire con me, e mettere la sua esperienza e piccardia al mio servizio
- D eborah, por sus clases de estadística
- D iego, por decir las cosas cuando toca
- I miei genitori, per aiutarmi economicamente
- Javi, por aguantarme transfigurada por la tesis, por comprenderme en cualquier circunstancia, por hacerme reir siempre, y por quereme.
- Juan, por su amor a la naturaleza
- Julia, por tener siempre una sonrisa
- L a C avrini, per la sua resistenza
- L as cabras y a los corderos de mis experimentos, en la esperanza de no haberles estresado demasiado
- M aite, por ser un personaje

- M arcel, Pauloba, Sandra, Sergio por aprender conmigo
- M aría, por saber donde pinchar y por saber desvelar los autoengaños
- M aría R odríguez, por su positivismo
- M arta e M aricarmen, por haberme pasado el legado
- M enxu, por su equilibrio
- M ontse Sala, per tenir visió
- M ontse, per la seva efeverscència, la seva alegria, el seu altruisme i la seva cuina
- N U T E G A , por haber financiado la mayoría de los estudios
- N utrición A nimal, por los buenos momentos pasados juntos, cualquiera fuera la especie
- P A N C O S M A , por haber financiado un estudio
- Piero, por compartir la sangre italiana
- Producción A nimal, por estar siempre disponibles a darme valiosos consejos
- R oman, por su simpatía y su transparencia

Y por último a Laura y Adriana a las que dedico esta tesis sencillamente porque son las personas más buenas que me he encontrado en esta experiencia. Os quiero muchísimo chicas.

A todos vosotros, gracias de corazón.

Cavrini

“.....mi son ritrovato indipendente e libero, mica male!”

Salvador R ighi

A Laura

y

A driana

Tabla de abreviaciones

Castellano

AGNE = Ácidos Grasos no Esterificados
AGV = Ácidos Grasos Volátiles
AP = Anchura Papilas
CAP = Aceite de Capsicum
CAPS = Capsaicina
CARV = Aceite de Carvacol
CB = Butirato Cálculo
CIN = Aceite de Cinamaldeído
Conc = Concentrado
DI = Dieta de Inicio
ENE = Aceite de Enebro
EUG = Aceite de Eugenol
GLU = Glucosa
GP = Ganancia de Peso
IC = Índice de Conversión
IDI = Ingestión Dieta de Inicio
IMS = Ingestión Materia Seca
LP = Largueza Papilas
LR = Lactoreemplazante
MON = Monensina
MS = Materia Seca
PC = Peso Canal
PF = Peso Final
PRR = Peso Retículo-Rumen
PV = Peso Vivo
SB = Butirato Sódico

Inglés

ADF = Acid Detergent Fiber
ADG = Average Daily Gain
ATP = Adenosine Triphosphate
BCS = Body Condition Score
BHV-1 = Bovine Herpes Virus 1
BW = Body Weight
CAP = Caspicum Oil
CF = Crude Fiber
CIN = Cinnamaldehyde Oil
CON = Control Treatment
CP = Crude Protein
CRT = Control Treatment
DM = Dry Matter
DMI = Dry Matter Intake
DP = Dressing percentage
EE = Ethere Extract
EO = Essential Oils
EOT = Essential Oils Treatment
EUG = Eugenol Oil
EXP2 = Experiment 2
EXP1 = Experiment 1
FCR = Feed Conversion Ratio
GLP-1 = Glucagon-Like Peptide 1
GLY = Glycerol Treatment
GLY-MG-B = Glycerol, Monopropylene Glycol, Vitamin B and Cobalt Treatment.
HCW = Hot Carcass Weight
IGF-1 = Insulin-like growth factor 1
MG = Monopropylene Glycol Treatment
MG-B = Monopropylene Glycol plus Vitamin B Treatment
n = number
NDF = Neutral Detergent Fiber
NEFA = Non Esterified Fatty Acids
P = *P*-value
RRW = Reticulum-Rumen Weight
SAS = Statistical Analysis Software
SB0 = 0 g of SB Treatment
SB7 = 7 g of SB Treatment
SB14 = 14 g of SB Treatment
SB21 = 21 g of SB Treatment
SBC = Sodium Butyrate Concentrate Treatment
SCC = Somatic Cell Count
SE = Standard Error
TMR = Total Mixed Ration

Resumen

Se han llevado a cabo cuatro experimentos *in vivo* para estudiar el potencial de diferentes sustancias como aditivos zootécnicos en pequeños rumiantes en sistemas intensivos y condiciones de campo. En el primer experimento, veinticuatro cabras Murciano-Granadinas preñadas fueron tratadas durante el periparto con una dieta control (**CRT**), y la misma dieta suplementada con una mezcla de productos comerciales a base de aceites esenciales (**EOT**, a base de Capsicum, Eugenol y Cinamaldehído a dosis de 10,8, 13,4 y 8,1 mg por Kg de materia seca de la dieta, respectivamente). La hipótesis era que los indicadores del metabolismo energético mejorarían debido a un aumento de la ingesta inducido por el capsicum, y un mejor aprovechamiento de los nutrientes gracias a la acción antimicrobiana en el rumen del eugenol y el cinamaldehído, y, en última instancia, se reduciría el riesgo de aparición de la toxemia de la gestación y se mejoraría el rendimiento de las cabras. Los resultados sobre el consumo de alimento, el perfil plasmático energético y la producción y composición de la leche fueron parecidos en ambos tratamientos, indicando que esta combinación de aceites esenciales a las dosis propuestas y en el contexto aplicado no tiene potencial como aditivo zootécnico. En el segundo experimento, veintiocho cabras preñadas fueron suplementadas durante el periparto con compuestos gluconeogénicos comerciales como tratamientos: 1) **MG**, 36,9 g/cabra/día a base de monopropilen glicol; 2) **GLY**, 60 g/cabra/día, que incluía glicerol; 3) **MG-B**, 44,32 g/cabra/día, que contenía monopropilen glicol y vitaminas del grupo B; 4) **GLY-MG-B**, 56,47 g/cabra/día, que contenía glicerol, monopropilen glicol, propionato cálcico, niacina y cobalto. El objetivo era definir cuál de los 4 suplementos daba mejores resultados sobre los indicadores del metabolismo energético y el rendimiento productivo. Los resultados fueron similares entre tratamientos, excepto por el contenido en grasa y proteína de la leche de **GLY** que fue mejorado con respecto a los otros tratamientos. El mecanismo de acción por el cual el glicerol mejoró la composición de la leche no está del todo claro, pero, de acuerdo con la literatura, se confirma su validez como sustancia gluconeogénica con alto potencial zootécnico. Para el tercer experimento se hipotetizó que suplementar cabras con butirato sódico (**SB**) pudiera aumentar la concentración de grasa en la leche. Veinte cabras a media lactación fueron asignadas a 4 tratamientos: **SB0**, **SB7**, **SB14** y **SB21**, a dosis de 0, 7, 14 y 21 g/cabra/día, respectivamente. La adición de **SB** no tuvo efectos sustanciales sobre los indicadores estudiados, demostrando que el **SB** a las dosis y condiciones propuestas no aumenta la grasa

RESUMEN

en la leche. En el último experimento se evaluó el efecto del SB en el crecimiento de corderos ripolleses. Durante la lactancia los corderos permanecieron con las madres, y fueron alimentados con un concentrado control (**CON**), o con concentrado con 2,4 g de SB por Kg de materia seca (**SBC**). Al destete los animales tratados mostraron una mayor ingestión, ganancia de peso, peso y rendimiento de la canal, y tendieron a tener una mayor longitud de las papilas rumianales, aunque un menor peso del retículo-rumen. En el engorde, los animales fueron alimentados con CON o con SBC, por lo que los tratamientos fueron **CON-CON**, **CON-SBC**, **SBC-CON**, **SBC-SBC**, donde el primer término indica la dieta recibida durante la lactancia, y el segundo la dieta del engorde. A los tres meses de vida, los resultados fueron similares entre tratamientos. En su conjunto, los resultados demuestran que el SB a las dosis y condiciones propuestas juega un papel de promotor del crecimiento que se refleja en la producción de corderos durante la lactancia, mientras que estos efectos beneficiosos desaparecen durante el engorde.

Summary

Four *in vivo* experiments were carried out to study the potential of different substances as zootechnical additives in small ruminants in intensive systems and field conditions. In the first experiment, twenty-four Murciano Granadina pregnant goats were treated during peripartum a control diet (**CRT**), and the same diet supplied with a mixture of commercial products based on essential oils (**EOT**, containing Capsicum, Eugenol and Cinnamaldehyde, at doses of 10.8, 13.4 and 8.1 mg per Kg of dry matter of the diet). The hypothesis was that energy metabolism indicators would be improved through an increase of intake induced by capsicum, and through a better utilization of nutrients in the rumen by the action of eugenol plus cinnamaldehyde, and ultimately, the risk of pregnancy toxemia would be reduced and performance would be increased. Results on feed intake, energy plasma profile, milk production and composition were similar in both treatments, indicating that this combination of essential oils at doses proposed and the current context has no potential as a zootechnical additive. In the second experiment, twenty-eight pregnant goats were supplied with gluconeogenic commercial treatments: 1) **MG**, 36.9 g/goat/day, containing monopropylene glycol; 2) **GLY**, 60 g/goat/day, including glycerol; 3) **MG-B**, 44.32 g/goat/day, containing monopropylene glycol and B vitamins; 4) **GLY-MG-B**, 56.47 g/goat/day, including glycerol, monopropylene glycol, calcium propionate, niacin and cobalt. The objective was to evaluate which of the 4 supplementations gave better results on energy metabolism indicators and performance. The results were similar among treatments, except for the fat and protein content in the milk of **GLY**, that was improved compared with the other treatments. The mechanism of action by which glycerol improved milk composition is not entirely clear, but according to the literature, glycerol has high potential as gluconeogenic substance. In third experiment, the hypothesis was that goats supplied with sodium butyrate (SB) would increase milk fat concentration. Twenty goats at mid-lactation were assigned to 4 treatments: **SB0**, **SB7**, **SB14**, **SB21**, at doses of 0, 7, 14 and 21 g/goat/day of SB, respectively. The addition of SB had no substantial effects on energy plasma profile, production and milk composition, showing that the supplementation of SB at doses proposed does not increase the fat in milk. In the last experiment, the effect of SB on the growth of Ripollesa lambs during suckling and fattening periods was evaluated. During the suckling period, the lambs remained with their mothers, and were fed control concentrate (**CON**), or concentrate with SB at a dose of 2.4 g per kg of dry matter (**SBC**). At

SUMMARY

weaning **SBC** animals showed higher intake, weight gain, carcass weight and dressing percentage, and tended to have higher rumen papillae length, but tended to have lower reticulum-rumen weight. In the fattening period, lambs were fed CON or SBC, so treatments were **CON-CON**, **CON-SBC**, **SBC-CON**, or **SBC-SBC**, where the first term indicates the diet received during the suckling period, and the second the diet of the fattening period. At three months of age, the results were similar among treatments. Taking all together, results show that SB in the concentrate at doses and conditions proposed plays the role of growth promoter during the suckling period, which is reflected in lamb production, whereas these beneficial effects disappear during the fattening period.

Índice

CAPÍTULO 1: Revisión bibliográfica.....	1
1. El sector ovino y caprino	3
2. La intensificación del sistema productivo	4
3. Trastornos de los sistemas intensivo y semi-intensivo	6
3.1. La toxemia de la gestación	8
3.1.1. Fisiología del metabolismo energético.....	10
3.1.2. Balance energético negativo y aparición de la cetosis.....	12
3.1.3. Regulación endocrina	13
3.1.4. Toxemia de la gestación en pequeños rumiantes vs cetosis de la lactación en vaca	14
3.1.5. Cetosis de la lactación en cabra	15
3.1.6. Factores que predisponen a la aparición de la toxemia de la gestación .16	
3.1.6.1. Factores inherentes al animal.....	17
3.1.6.2. Factores estresantes	18
3.1.6.3. Factores nutricionales.....	19
3.1.7. Clasificación de la toxemia de la gestación	19
3.1.8. Signos clínicos, hallazgos postmortem y diagnóstico.....	20
3.1.9. Tratamiento.....	23
3.1.10. Gluconeogénicos.....	24
3.1.11. Prevención.....	26
3.1.12. Conclusiones sobre la toxemia de la gestación	28
4. Aditivos como estrategia zootécnica	29
4.1. Clasificación.....	29

ÍNDICE

4.2.	Los antibióticos	31
4.3.	Aditivos zootécnicos.....	32
4.3.1.	Extractos de plantas	32
4.3.1.1.	Taninos.....	32
4.3.1.2.	Saponinas.....	33
4.3.1.3.	Aceites esenciales	34
4.3.1.3.1.	Eugenol	35
4.3.1.3.2.	Cinamaldehído	36
4.3.1.3.3.	Capsicum.....	37
4.3.1.3.4.	Ajo.....	39
4.3.1.3.5.	Enebro.....	40
4.3.1.3.6.	Orégano y Carvacol	40
4.3.1.3.7.	Combinaciones de extractos de plantas	40
4.3.1.3.8.	Cosideraciones sobre las dosis.....	42
4.3.1.3.9.	Conclusiones sobre los aceites esenciales	44
4.3.2.	Cultivos microbianos	48
4.3.2.1.	Hongos y levaduras	48
4.3.2.2.	Cultivos de bacterias	49
4.3.3.	Enzimas fibrolíticas.....	49
4.3.4.	Ácidos orgánicos.....	50
4.3.4.1.	Malato y fumarato	52
4.3.4.2.	Butirato en rumiantes en crecimiento	52
4.3.4.3.	Butirato en rumiantes en lactación.....	58
5.	Conclusiones	59
6.	Referencias bibliográficas	60
CAPÍTULO 2: Objetivos.....		97
CAPÍTULO 3: The effect of essential oils and gluconeogenic supplements on energy metabolism and of dairy goat around kidding performance		101
Abstract.....		103
Introduction		104
Material and methods		105
Experiment 1		105
Experiment 2.....		106

Chemical Analysis.....	108
Statistical analysis for the experiment 1	109
Statistical analysis for the experiment 2	109
Result and discussion of Experiment 1	110
Results and discussion of Experiment 2	112
Conclusions	114
Acknowledgements.....	115
References	115
CAPÍTULO 4: Effect of the supplementation of sodium butyrate on milk fat concentration of mid-lactation dairy goats	129
Abstract.....	131
Introduction	132
Material and methods	132
Results.....	134
Discussion	135
Conclusions	136
Acknowledgements.....	136
References	136
CAPÍTULO 5: Effect of sodium butyrate on rumen development and performance of lambs in intensive production system during the suckling and the fattening periods	142
Abstract.....	144
Introduction	145
Material and methods	145
Animals, treatments and management during the suckling period.....	146
Animals, treatments and management during the fattening period.....	146
Measurements and sample collection during the suckling and the fattening periods .	147
Statistical analysis for the suckling and the fattening periods.....	148
Results.....	149
The suckling period	149
The fattening period	149
Discussion	150
The suckling period	150
The fattening period	151
Conclusions	153
Acknowledgements.....	153

ÍNDICE

References	153
CAPÍTULO 6: Discusión general.....	162
Discusión general	164
Perspectivas de futuro	167
Referencias bibliográficas	168
CAPÍTULO 7: Conclusiones.....	172

Índice de Tablas y Figuras

CAPÍTULO 1: Revisión bibliográfica	1
Figura 1. Esquema de los mecanismos fisiológicos involucrados en el desarrollo de la toxemia de gestación.	11
Tabla 1. Ejemplo de perfil bioquímico de ovejas al final de la gestación sanas o con toxemia de gestación.	21
Tabla 2. Ejemplo de perfil bioquímico y pH urinario de cabras al final de la gestación sanas o con toxemia de gestación.	22
Tabla 3. Condición corporal recomendada e incremento de las necesidades energéticas para los diferentes periodos productivos de una oveja y de una cabra (Fuente, NRC, 1981; NRC, 1985).	27
Tabla 4. Efectos de diferentes aceites esenciales sobre la producción.	46
Figura 2. Esquema de la biosíntesis de los principales ácidos grasos volátiles en el rumen a partir de diferentes fuentes de carbohidratos.....	51
Tabla 5. Resumen de los efectos sobre la producción de la suplementación de SB en la dieta de rumiantes en crecimiento.	57
CAPÍTULO 3: The effect of essential oils and gluconeogenic supplements on energy metabolism and performance of dairy goat around kidding	101
Table 1. Experiment 1. Ingredients and chemical composition of the total mixed ration (TMR).	121
Table 2. Experiment 2. Ingredients and chemical composition of the diet.	122
Table 3. Experiment 2. Ingredients of the concentrate and the high energy mix.....	122
Table 4. Experiment 1. Effect of the supplementation of cinnamaldehyde, eugenol and capsicum on goats around kidding.	123
Table 5. Dry matter forage intake, and the effect of gluconeogenic supplementations on body weight, milk production, somatic cell count and metabolite plasma concentrations of goats.	124
Figure 1. Evolution of body condition score over weeks among treatments.	125
Figure 2. Evolution of milk fat concentration and yield over weeks among treatments. .	126
Figure 3. Evolution of milk protein concentration and yield over weeks among treatments.	127
Figure 4. Evolution of milk lactose concentration and yield over weeks among treatments.	128
CAPÍTULO 4: Effect of the supplementation of sodium butyrate on milk fat concentration of mid-lactation dairy goats	129
Table 1. Ingredients and chemical analysis of the diet.	139
Table 2. Ingredients of the concentrate and the high energy mix.	140

ÍNDICE

Table 3. Effect of treatments on measurements during sampling period.	141
CAPÍTULO 5: Effect of sodium butyrate on rumen development and performance of lambs in intensive production system during the suckling and the fattening periods.....	142
Table 1. Ingredients and chemical composition of commercial concentrate fed to lambs during the suckling and the fattening periods.	157
Table 2. Effect of treatments during the suckling period.....	158
Table 3. Effect of sex during the suckling period.	159
Table 4. Effect of treatments during the fattening period.....	160
Table 5. Effect of sex during the fattening period.	161

CAPÍTULO 1

Revisión bibliográfica

1. El sector ovino y caprino

El ganado ovino y caprino está distribuido en todos los continentes habitados, aprovecha eficazmente una gran variedad de territorios de escasos recursos, y contribuye a mantener buenas condiciones agroambientales, a través de la fertilización del entorno, del mantenimiento de la biodiversidad, de la prevención de incendios y de la preservación del paisaje (Riedel *et al.*, 2007). De esta forma, el sector ovino y caprino favorece la presencia humana en las zonas rurales desfavorecidas y contribuye al mantenimiento de la cultura tradicional. Los productos cárnicos y lácteos de los pequeños rumiantes tienen una alta calidad nutricional y organoléptica (Park *et al.*, 2007). El sector ovino y caprino en España es tan relevante como vulnerable, debido al vínculo que tiene con áreas geográficas, económicas y sociales desfavorecidas.

Dentro de la Unión Europea, España destaca como el segundo país por censo de ganado ovino, con 17,4 millones de cabezas (por detrás del Reino Unido), y de caprino, con 2,6 millones de cabezas en 2011 (por detrás de Grecia). Las cabañas ovina y caprina sufrieron una reducción del censo de la población del 20,6 % y del 8,8 %, respectivamente, y una reducción del número de explotaciones del 12,2 % y del 5,9 %, respectivamente desde el año 2007 al 2011. El sector ovino-caprino representaba el 11,50 % de la Producción Final Ganadera de España en el 2007 y sufrió una caída hasta el 6,5 % en 2011 (MAGRAMA, 2012a). En cuanto al comercio exterior el balance final en 2010 fue positivo, lo que refleja el aumento de la competitividad de este sector.

Hace una década el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, empezó una profunda reestructuración del sector para adaptarse a la exigente Política Agraria Común Europea del 2003. Las reformas promovían la conservación del medio ambiente, la puesta en valor de las razas autóctonas, el incremento de la productividad, competitividad y rentabilidad de las explotaciones, y la mejora de la calidad de los productos finales. Así pues, hemos asistido a una progresiva profesionalización del sector, en la que se ha profundizado en la especialización productiva de carne y leche, mientras que la producción de lana y piel ha quedado relegada a términos residuales.

El sector ovino y caprino de carne representaba el 4,2 % de la Producción Final Agraria en el 2007, y sufrió una caída hasta el 2,4 % en el 2011. Este resultado se puede atribuir a varias causas, principalmente la reducción del censo y del consumo. No obstante, los productores han visto aumentar sus ingresos. En los últimos años hemos asistido a un

CAPÍTULO 1

progresivo abandono de los sistemas pastorales a favor de sistemas productivos semi-intensivos e intensivos (Gaspar *et al.*, 2008). Han aumentado las Agrupaciones entre productores que, entre otras cosas, llevan a cabo programas de cebo en común en los Centros de Tipificación, que han supuesto un aumento importante en el margen de beneficio, debido tanto a un aumento de los ingresos, como a una pequeña reducción de los costes (MAGRAMA, 2012b). También hay que destacar la mejora de la comercialización de la carne, y el avance en calidad mediante sistemas de etiquetado específico con garantía de origen (MAGRAMA, 2012b).

La leche de oveja supone el 13,5 % de la Renta láctea, mientras que a la de cabra le corresponde el 10,5 % en el 2011. Al contrario que el sector cárnico, el lechero incrementó considerablemente su producción en los últimos 5 años. En el 2011 se llegaron a producir 533 millones de litros de leche ovina y 523 millones de litros de leche caprina, un 25 y 10 % más que en el 2007, respectivamente (MAGRAMA, 2012a). El aumento de la productividad de las explotaciones es debido a varios factores, como la mejora genética (Rodríguez Ruiz, 2013), la modernización de las instalaciones y maquinarias (Castel *et al.*, 2011), la mejora de la alimentación (Toro-Mujica *et al.*, 2012), de la reproducción (Riedel *et al.*, 2007), del manejo sanitario, y la especialización de la mano de obra (Sánchez-Rodríguez, 2008b). El incremento de la producción de leche en España ha estado acompañado de una creciente demanda de productos lácteos (MAGRAMA 2012a), tanto caprinos como ovinos.

2. La intensificación del sistema productivo

La intensificación de las explotaciones ovinas y caprinas en España y en Europa es un hecho que empezó hace más de una década y sigue hoy en día (Nahed *et al.*, 2006, Morand-Fehr *et al.*, 2004, Castel *et al.*, 2011). Son muchos los factores que han llevado y llevan a la intensificación de las explotaciones vigentes y al cierre de las más vulnerables, como por ejemplo el reglamento jurídico impuesto por la Reforma de la PAC. El desacoplamiento de las ayudas favorece el abandono de la actividad pastoril, o al cambio a otro tipo de actividad (Canali, 2006; De Rancourt *et al.*, 2006). La necesidad de incrementar la productividad ha llevado a obtener al menos 3 partos cada 2 años, a obtener lactaciones más duraderas, y a evitar la estacionalidad de la producción (tanto cárnica como láctea) y de los precios (Riedel *et al.*, 2007). Sin embargo, incrementar el rendimiento productivo del rebaño implica un incremento proporcional de las necesidades nutricionales. En estas condiciones, el pastoreo sólo no es suficiente porque no cumple con todas las necesidades nutricionales de los

animales en estos estados fisiológicos (Riedel *et al.*, 2004), sobre todo si se utilizan razas altamente productivas. Esto implica un periodo de estabulación más largo y más frecuente, y la necesidad de proporcionar forraje y suplementaciones de concentrado a animales estabulados con alta demanda nutricional. En estas condiciones, un manejo nutricional adecuado y una gestión organizada, eficiente y minuciosa de la explotación, son la clave para el correcto funcionamiento del negocio y son características de sistemas productivos semi-intensivos e intensivos (Toro-Mujica *et al.*, 2012). El elevado precio de los pastos y la falta de pastores son otras causas directas del abandono de los sistemas pastoriles (Sánchez-Rodríguez, 2008a; Ruiz *et al.*, 2009). Existen también motivos sociales que empujan al abandono de los sistemas extensivos a favor de los intensivos, como la reducción de la jornada laboral (Sánchez-Rodríguez, 2008a). Según Ruiz *et al.* (2009) las horas diarias de trabajo rondan las 11,1 en sistemas extensivos, mientras que se reducen a 7,1 en los intensivos. En resumen, las condiciones políticas, medioambientales, económicas y sociales de España hacen que, actualmente, por lo general, las explotaciones más rentables sean las semi-intensivas e intensivas. No obstante, estos sistemas productivos tienen inconvenientes como:

- El elevado coste de los animales por su alto grado de especialización.
- La pérdida de variabilidad genética y la menor resistencia de los animales.
- Problemas de bienestar animal por hacinación.
- Problemas medioambientales por los purines y los malos olores.
- La necesidad de mano de obra cualificada.
- La dependencia financiera para disponer de capital.
- Unos costes de producción importantes.
- Los elevados costes de instalaciones, urbanización (agua, luz, ventilación) y utillaje.
- La elevada dependencia alimenticia (importaciones de soja, maíz, y aditivos).
- Una considerable labor de dirección y gestión.
- El control de la reproducción.
- El control sanitario.
- El manejo alimentario complicado.

En este último punto se focaliza este trabajo: tratar de mejorar la productividad, a través de la optimización del manejo nutricional, respetando el medio ambiente y la salud

animal y humana. En este ámbito la comunidad científica ha concentrado muchos esfuerzos, aportando tecnologías innovadoras dirigidas al aumento de la disponibilidad de los recursos alimenticios, encontrando el correcto equilibrio entre pastoreo y provisiones, mejorando la calidad de las raciones, ajustando la dieta a las necesidades, identificando los compuestos beneficiosos para la salud del animal, y manipulando las fermentaciones ruminales para una utilización más eficiente de los alimentos (Morand-Fehr, 2005; Nahed *et al.*, 2006; Calsamiglia *et al.*, 2007; Gaspar *et al.*, 2008; Sánchez-Rodríguez, 2008a; Castel *et al.*, 2010). En un sistema intensivo o semi-intensivo la optimización del manejo nutricional permite reducir costes e incrementar la productividad. La dieta debe aportar todas las necesidades nutricionales al animal, debe adaptarse a su estado fisiológico, a su edad, y tiene que estar en buen estado de conservación, para garantizar que el animal se mantenga en buena salud, y exprese todo su potencial productivo. Cuando no se cumplen estos requisitos imprescindibles aparecen trastornos metabólicos y sanitarios. En la siguiente sección es oportuno abordar aquellas enfermedades de la producción más comunes de los sistemas productivos intensivos y semi-intensivos, que aparecen cuando el manejo alimenticio no se planifica adecuadamente. La toxemia de la gestación se tratará más detalladamente por ser tema importante de esta tesis.

3. Trastornos de los sistemas intensivo y semi-intensivo

Los rumiantes se han adaptado filogenéticamente a utilizar los carbohidratos de la fibra, tales como la celulosa y la hemicelulosa, como fuente principal de energía metabólica (Bergman, 1990). Al contrario que la adaptación filogenética, las actuales prácticas de alimentación en los sistemas intensivos utilizan dietas altamente fermentables para maximizar la ingesta de energía y obtener elevadas producciones de leche y tasas de crecimiento. Sin embargo, las dietas altamente fermentables aumentan la tasa de producción de ácido en el rumen. La acumulación de ácido puede causar una bajada del pH ruminal, que afecta negativamente a la fermentación microbiana, a la función del epitelio ruminal, y, finalmente, a la salud animal y la productividad (Nocek, 1997; Müller *et al.*, 2002). En los pequeños rumiantes este trastorno aparece sobre todo durante los periodos de transición, es decir, en el parto en los animales adultos, y al destete en los animales jóvenes. En estos momentos, de hecho, la mucosa ruminal tiene que estar correctamente adaptada a la absorción de una cantidad importante de ácidos grasos volátiles. Por ello, es oportuno realizar un cambio progresivo a una dieta rica en concentrado. La forma subaguda de la acidosis ruminal, llamada acidosis ruminal subaguda (SARA), es muy frecuente en el ganado vacuno (Krause y Oetzel,

2006), pero no en los pequeños rumiantes, que desarrollan prevalentemente la forma aguda y sintomática, siendo la cabra más resistente que la oveja (Stelletta *et al.*, 2008).

Uno de los problemas frecuentes de la cría de corderos y cabritos en los sistemas intensivos es la aparición de diarrea debido a múltiples factores relacionados con un manejo incorrecto, como el estrés por hacinamiento, la ingestión de grandes cantidades de leche tomada muy rápidamente, el uso inadecuado de lacto reemplazantes, la irregularidad en las tomas, la falta de higiene, el lacto reemplazante frío o mal diluido, y el uso de lacto reemplazantes de composición y digestibilidad inadecuadas para los animales. Todos estos factores facilitan el desarrollo de los patógenos y la aparición de procesos diarreicos. Las consecuencias son deshidratación y acidosis metabólica.

La indigestión de leche puede aparecer en lactancias tanto naturales como artificiales, debido a la ingestión excesiva de leche demasiado rápidamente y en una sola toma. Esto causa que el abomaso se llene y se produzca un reflujo hacia el rumen, o el paso de leche no digerida al intestino, ocasionando acidosis ruminal y enteritis, respectivamente. En las lactancias naturales las madres de razas de aptitud lechera proporcionan mucha disponibilidad de leche, circunstancia que favorece el atragantamiento de las crías. En razas prolíficas, además, puede haber competencia entre las crías, causando una excesiva separación entre tomas, y una consecuente indigestión. Asimismo, la disponibilidad de leche, la competencia entre crías y una excesiva separación entre tomas pueden provocar una indigestión de leche en lotes de crías en lactación artificial (Morales, 2003). La diarrea puede ser debida también a un bajo peso de los animales al nacimiento y a la consecuente baja ingestión y digestión. Este bajo peso puede ser causado por la mala alimentación de la madre durante la formación y desarrollo de los anejos fetales (90-115 días de gestación), por la mala alimentación de la madre durante el último tercio de la gestación (época de gran desarrollo fetal), o por un elevado número de fetos por gestación. Por este motivo es fundamental cuidar no solamente el manejo alimenticio de las crías, si no también el de las madres (Morales, 2003).

La hipocalcemia (o fiebre de la leche, o paresis puerperal) es una enfermedad metabólica que aparece en vacas durante el parto desencadenada por la alta producción lechera. Afecta principalmente al ganado vacuno, pero puede afectar también a los pequeños rumiantes (Radostits *et al.*, 1994). Este síndrome es más frecuente durante la gestación que durante la lactancia, probablemente debido a la aparición simultánea de la toxemia de gestación y de hipomagnesemia (Radostits *et al.*, 1994). Durante la gestación y la lactancia, el feto y la síntesis de leche absorben grandes cantidades de calcio sanguíneo, del intestino y de

CAPÍTULO 1

los huesos. De esta forma, la homeostasis mineral de la cabra o de la oveja se puede ver alterada, hasta llegar a ser mortal. La hipocalcemia suele aparecer en forma de brote. Habitualmente los animales presentan un cuadro clínico de hipermagnesemia, hipofosfatemia e hiperglucemia. La enfermedad cursa con debilidad y depresión, pero el síntoma más evidente es la consecuente paresis que puede llegar a parálisis con decúbito esternal y posteriormente coma y muerte (Manual Merck de Veterinaria, 2005).

La fertilidad es un aspecto clave, ya que es una de las principales razones de eliminación involuntaria en las explotaciones de pequeños rumiantes (Malher *et al.*, 2001). Se ha demostrado que la elevada producción de leche está negativamente asociada con el rendimiento reproductivo de los rumiantes domésticos, especialmente en vacas (Butler, 2000; Pollott y Gootwine, 2004). El antagonismo genético que se encuentra en el ganado vacuno lechero entre la producción de leche y la fertilidad podría ocurrir también en pequeños rumiantes lecheros (Barillet, 2007). Las interacciones nutricionales que inducen una reducción de la fertilidad en vacas lecheras de alta producción incluyen los efectos de balance energético negativo y los efectos de altos niveles de proteína en la dieta (Butler, 2000). La elevada demanda energética para la producción de leche induce y exacerba el balance energético negativo. Esta reducida disponibilidad de energía es la causa de un retraso de la actividad ovárica y una reducción de las tasas de concepción, por lo que el rendimiento reproductivo se ve comprometido (Fonseca *et al.*, 1983). Si bien en la vaca este problema reproductivo es frecuente, en los pequeños rumiantes no lo es tanto, debido a una práctica de manejo diferente. En las explotaciones de pequeños rumiantes es habitual preparar a las hembras para la estación reproductiva mediante el “flushing”. Esta práctica consiste en un aumento progresivo del nivel de la energía de la dieta desde 3 o 4 semanas antes de la introducción del macho hasta aproximadamente 21 días a partir de entonces (Luginbuhl y Poore, 1998). Varios estudios han demostrado que, gracias al flushing, la ovulación y la implantación del feto en el útero mejoran (Kusina *et al.*, 2001; Acero-Camelo *et al.*, 2008).

3.1. La toxemia de la gestación

La toxemia de gestación (también llamada cetosis gestacional o toxemia de la preñez) es una enfermedad metabólica que afecta a ovejas y cabras preñadas durante el último tercio de la gestación, como consecuencia de un balance energético negativo (Payne, 1977). La causa determinante de la toxemia de gestación es un desajuste de los mecanismos homeostáticos

que regulan el metabolismo energético (Herdt y Emery, 1992). Es oportuno describirla detalladamente, ya que, por un lado, el objetivo de los dos primeros experimentos realizados en esta tesis (Capítulo 3) trata de prevenirla, y, por el otro, la descripción de los procesos metabólicos involucrados en este trastorno ayudan a la comprensión del tercer experimento (Capítulo 4).

Las pérdidas económicas debidas a la toxemia de gestación derivan de la pérdida de las madres y sus fetos, y los gastos generados por el tratamiento y por la prevención de la enfermedad. Rook (2000) estimó los gastos para un rebaño ovino en Estados Unidos en el año 1999 en 105-180\$ por oveja. Esta cifra no incluye los costes de tratamiento, pero sí el coste de reposición de la oveja afectada (80-120\$) y los costes alimentarios durante el invierno: 25\$ en sistemas extensivos y 40-60\$ en sistemas semi-intensivos. Las implicaciones económicas varían mucho y pueden llegar a ser ingentes sobre todo si la enfermedad aparece en brotes.

La toxemia de la gestación puede aparecer en cualquier lugar donde se críen pequeños rumiantes, pero aparece con más frecuencia en sistemas de producción intensivos y es relativamente poco frecuente en los extensivos (Radostits *et al.*, 1994). Andrews (1997) estimó que la toxemia de gestación afecta a alrededor de un 2 % de los rebaños cada año en el Reino Unido, y puede llegar a afectar al 40 % de las ovejas preñadas cuando el brote es grave. Según Rook (2000), cuando el manejo del rebaño es adecuado, el porcentaje de los rebaños afectados es bajo (1-2 %). En un estudio realizado en Canadá el 19 % de explotaciones ovinas registró casos de la enfermedad (Dohoo *et al.*, 1985). Un estudio con animales provenientes de explotaciones egipcias con problemas reincidentes de toxemia de gestación, mostró una incidencia del 28 % en ovejas y del 59 % en cabras (Bayoumi, 2005). En un estudio realizado con datos provenientes de 43 explotaciones caprinas intensivas de Francia occidental no se encontró ningún caso de toxemia de la gestación (Malher *et al.*, 2001). Es evidente que la incidencia de la toxemia de gestación varía mucho, y no es de extrañar ya que su aparición depende de múltiples factores. Además, entre los ganaderos españoles existe la percepción de que la toxemia de la gestación es una enfermedad común, sin embargo, la información relativa a su incidencia es escasa.

3.1.1. Fisiología del metabolismo energético

En los pequeños rumiantes la aparición del balance energético negativo durante el último tercio de la gestación es fisiológica, y la mayoría de los animales conviven con ello y no desarrollan la toxemia de gestación (Herdt y Emery, 1992). Conocer la fisiopatología de esta enfermedad metabólica requiere entender primero cómo los animales conviven con el balance energético negativo, y por qué y cómo algunos desarrollan la enfermedad.

Entre los AGV producidos en el rumen, sólo el propionato sirve como precursor de la glucosa, y su contribución a la gluconeogénesis oscila entre un 30 % y un 80 % (Wiltrout y Satter, 1972; Steirdaour y Bauman, 1988). Aunque el propionato constituya el precursor más importante de la glucosa, no es el único (Brockman y Laarveld, 1986). En menor medida, los aminoácidos gluconeogénicos (Lean *et al.*, 1992), el lactato y el glicerol son utilizados como precursores para la síntesis de glucosa (Figura 2.1). Los aminoácidos gluconeogénicos proceden de la digestión intestinal de la proteína bacteriana, de los alimentos o del catabolismo de la proteína corporal. El lactato, por otro lado, se forma en la pared ruminal a partir del propionato o procede de la oxidación incompleta de la glucosa. El glicerol proviene de la grasa corporal del tejido adiposo, capaz de ser movilizada a través de la lipólisis, que implica el fraccionamiento de los triglicéridos a glicerol y ácidos grasos no esterificados (AGNE). Durante los períodos de un balance negativo de energía y el aumento de la demanda de glucosa, hasta el 23 % de la glucosa se pueden sintetizar a partir de glicerol liberado del tejido adiposo (Bergman *et al.*, 1968).

Todas las rutas metabólicas de la gluconeogénesis (excepto la del glicerol) incluyen la reducción del oxalacetato, metabolito imprescindible también en el ciclo de Krebs donde reacciona con el Acetil-CoA para formar ácido cítrico. Cuando el oxalacetato escasea por falta de precursores de la glucosa (como el propionato), el poco oxalacetato disponible es utilizado preferencialmente en la gluconeogénesis, comprometiendo así el desencadenamiento de las reacciones del ciclo de Krebs (Krebs, 1966).

Los AGNE procedentes de la lipólisis de los triglicéridos, contribuyen directamente e indirectamente a las necesidades energéticas del organismo. Como el piruvato, los AGNE pueden ser oxidados en Acetil-CoA, metabolito del ciclo de Krebs. La disponibilidad de los AGNE para el ciclo de Krebs, permite que el piruvato sea utilizado preferencialmente para la gluconeogénesis. Por el contrario, los AGNE no pueden ser utilizados directamente para la formación de glucosa porque no son sustrato para la gluconeogénesis. Cuando el ciclo de

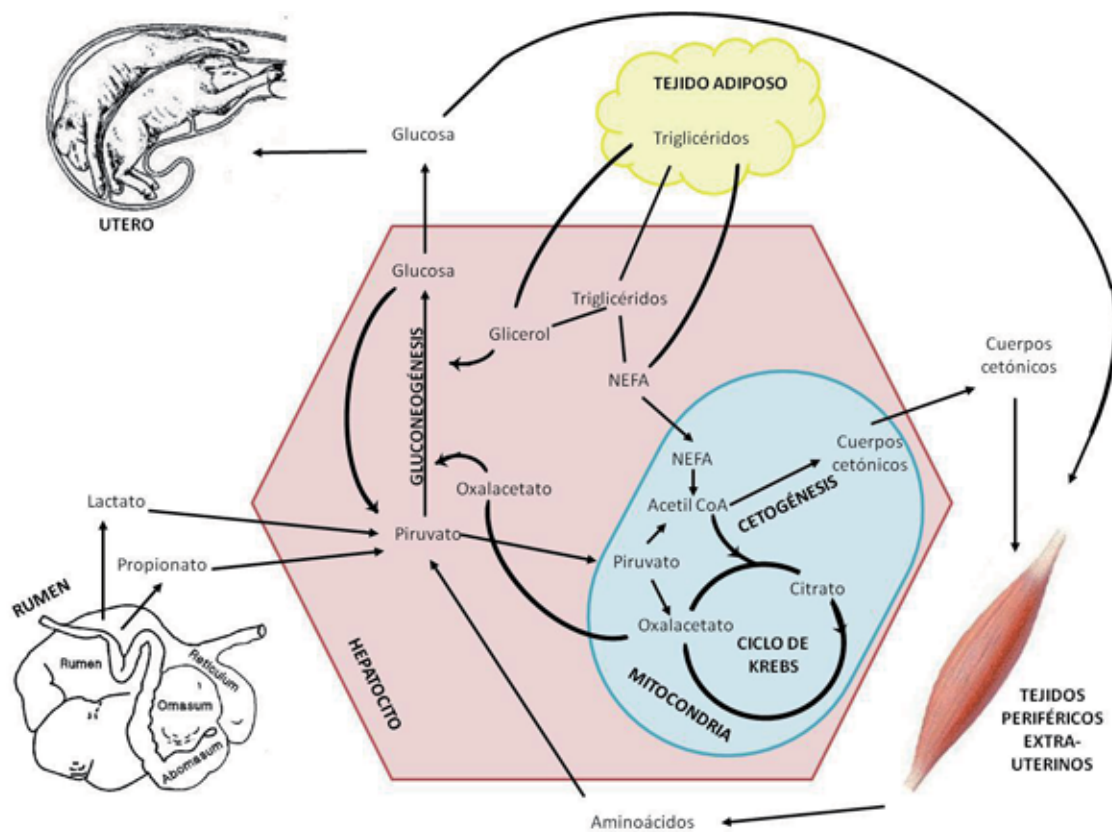


Figura 1. Esquema de los mecanismos fisiológicos involucrados en el desarrollo de la toxemia de gestación.

Krebs no puede tener lugar por escasez de oxalacetato, el Acetil-CoA derivado de los AGNE entra obligatoriamente en la ruta metabólica alternativa que lo convierte en cuerpos cetónicos, el aceto-acetato, la acetona y el β -hidroxibutirato (Krebs, 1966; Lean *et al.*, 1992). Por lo tanto, la completa oxidación en el ciclo de Krebs de los AGNE depende de la presencia de una cuota mínima de glucosa, garantizando la disponibilidad de oxalacetato. Una vez formados, los cuerpos cetónicos entran en el torrente circulatorio y llegan a los órganos periféricos donde constituyen una fuente de combustible. Sin embargo, no pueden sustituir a la glucosa como recurso energético para el feto. De hecho, las necesidades feto-placentarias de energía pueden llegar a representar el 45 % de la glucosa materna (Marteniuk y Herdt, 1988). Además, la absorción fetal de glucosa funciona independientemente de la regulación sanguínea de la glucosa en la madre, es decir, si el nivel de glucosa de la madre disminuye, los aportes fetales de glucosa no se limitan (Hay *et al.*, 1984). Este flujo unidireccional de glucosa hacia el feto se realiza a costa de la homeostasis glucídica de la madre. Aunque el descenso de los niveles de glucosa en sangre son indiscutiblemente perjudiciales para la madre (y en última

instancia para el feto), este mecanismo de seguridad asegura la viabilidad del feto a corto plazo (Hay *et al.*, 1984).

Hay que recordar que los cuerpos cetónicos representan una fuente normal de energía para los rumiantes (Robinson y Williamson, 1980). De esta forma, los AGNE y los cuerpos cetónicos alivian las necesidades de glucosa para los tejidos periféricos, permitiendo aumentar la disponibilidad de glucosa para el mantenimiento de la glucemia, las necesidades de la unidad feto-placentaria, y la instauración de la lactación. Al aumentar indirectamente la glucemia, los cuerpos cetónicos favorecen indirectamente la reducción de la demanda para la gluconeogénesis. Cuando la demanda para la gluconeogénesis es moderada, porque hay suficiente glucosa disponible para el organismo, la concentración de los intermediarios del ciclo de Krebs aumenta, ya que no son utilizados como precursores para la gluconeogénesis. En esta situación, uno de estos intermediarios, el citrato, pasa de la mitocondria (donde tiene lugar el ciclo de Krebs y la cetogénesis) al citosol, donde es transformado en malonyl CoA, un potente inhibidor de los transportadores de los AGNE en las mitocondrias (Jesse *et al.*, 1986). Tanto los cuerpos cetónicos (Metz y Van den Bergh, 1972) como la glucosa (Brockman, 1984) tienen un efecto depresivo sobre la liberación de los AGNE del tejido adiposo. Además, los cuerpos cetónicos reducen la captación de los AGNE por el hígado (Heitmman y Fernández, 1986), inhibiendo así su propia producción. De esta forma, cuando la demanda para la gluconeogénesis es reducida, también lo es la cetogénesis. En otras palabras, la disponibilidad de glucosa inhibe la formación de cuerpos cetónicos, y viceversa, la escasez de glucosa estimula la cetogénesis. La gluconeogénesis y la cetogénesis son, por lo tanto, procesos metabólicos complementarios.

3.1.2. Balance energético negativo y aparición de la cetosis

Cuando la disponibilidad de glucosa es reducida, se movilizan triglicéridos, causando un aumento de la liberación de AGNE. Como consecuencia, la producción de cuerpos cetónicos a partir de los AGNE también se incrementa. Al mismo tiempo, la velocidad de oxidación de los cuerpos cetónicos disminuye porque la concentración plasmática de la glucosa es menor. Cuando la velocidad de oxidación de los cuerpos cetónicos cae por debajo de la velocidad de producción de los mismos, la concentración de los cuerpos cetónicos en la sangre aumenta. La presencia de cuerpos cetónicos en sangre se denomina cetonemia, y es una característica típica de los mamíferos y de las aves. Pero, cuando los niveles de cuerpos cetónicos aumentan

por encima de los niveles fisiológicos el animal entra en un estado patológico de hipercetonemia (aumento patológico de cuerpos cetónicos en sangre) o cetosis (aumento patológico de cuerpos cetónicos en los tejidos y fluidos corporales).

Cuando existe un déficit de precursores para la gluconeogénesis, la habilidad de los rumiantes para mantener la concentración normal de glucosa en la sangre puede verse limitada. Como ya hemos visto, la escasez de glucosa estimula indirectamente la cetogénesis. Pero además, se ha demostrado en ovejas toxémicas que la hipercetonemia tiene un efecto depresivo sobre la producción hepática de glucosa, que es el punto de partida para el desarrollo de la cetosis (Schlumbohm y Harmeyer, 2004). En esta situación, la hipoglucemia exagera la hipercetonemia y viceversa: una retroalimentación positiva difícil de invertir. Por lo tanto, el animal entra en un círculo vicioso caracterizado por hipoglucemia y cetosis, que puede comprometer seriamente su supervivencia (Schlumbohm y Harmeyer, 2004).

3.1.3. Regulación endocrina

Los mecanismos de regulación de la glucemia son sensibles y complejos, ya que oscilaciones de la glucemia superiores al 20 % podrían causar daños orgánicos incompatibles con la supervivencia. Por lo tanto, en los rumiantes, la glucemia es mantenida en rangos muy restringidos, alrededor de 50mg/dL. Los sustratos energéticos no son los únicos reguladores de la homeostasis energética, también están involucradas algunas hormonas. Como ya hemos visto, los sustratos clave son la glucosa y los cuerpos cetónicos. La insulina y el glucagón son las principales hormonas reguladoras. La insulina inhibe la movilización de los AGNE y su ausencia la estimula (Brockman, 1985). El glucagón promueve la entrada de los AGNE en las mitocondrias de los hepatocitos, al disminuir la concentración de malonyl CoA en el citosol, mientras que la insulina inhibe este proceso. Por lo tanto, el glucagón y la insulina tienen efectos opuestos, el primero favorece la cetogénesis y la gluconeogénesis, mientras que la segunda los inhibe (McGarry y Foster, 1980). La glucemia regula la liberación de glucagón y de insulina: la hipoglucemia estimula la secreción de glucagón y la hiperglucemia favorece la liberación de insulina. La secreción de insulina es estimulada también por niveles altos de ácido propiónico y de cuerpos cetónicos. Además, la insulina tiene un efecto anticetogénico al inhibir la lipólisis (Brockman y Laarveld, 1985). La escasez de insulina lleva a una aceleración de la lipólisis, a un aumento de la cetogénesis hepática, y a una reducción de la absorción de los cuerpos cetónicos por parte de los músculos (Brockman y Laarveld, 1986). De hecho, varios

autores comprobaron que la insulina es una hormona importante para el desarrollo de la toxemia de gestación, al observar que ovejas insulino-resistentes son más susceptibles a la enfermedad (Wastney *et al.* 1982; Henze *et al.*, 1998). Si bien la insulina facilita la captación de glucosa por los tejidos periféricos, como los músculos y el tejido adiposo (Hay *et al.*, 1984; Vernon *et al.*, 1985), no altera la captación de glucosa por el útero grávido (Hay *et al.*, 1984). Por lo tanto, cuando la ingestión de energía es baja, los niveles bajos de insulina promueven la utilización de la glucosa para el crecimiento fetal, al reducirse la captación de glucosa por los tejidos periféricos extra-uterinos.

3.1.4. Toxemia de la gestación en pequeños rumiantes vs cetosis de la lactación en vaca

La toxemia de gestación de los pequeños rumiantes es similar a la cetosis de las vacas lecheras. En ambas están involucrados los mismos mecanismos metabólicos, y ambas se parecen en su elevada exigencia de glucosa (Radostits *et al.*, 1994). Sin embargo, la toxemia de gestación de los pequeños rumiantes es mucho más grave que la cetosis de la vaca, porque en el ganado vacuno el factor crítico lo constituyen las necesidades de glucosa para la lactación, mientras que en los pequeños rumiantes se relaciona con la demanda del/de los feto/s al final de la gestación. En la especie bovina las necesidades de glucosa para la lactación son el factor crítico que desencadena la enfermedad, porque la glándula mamaria de esta especie absorbe un 80 % de la glucosa circulante durante la fase temprana de la lactación (Bauman y Currie, 1980), que es aproximadamente el doble si se compara con la cabra (44 %, Madsen *et al.*, 2005), y más del triple, si se compara con la oveja (25 %, calculado a partir de King *et al.*, 1985; Freetly y Ferrell, 1999). Por el contrario, en los pequeños rumiantes los factores desencadenante son las necesidades de glucosa para la unidad feto-placentar (30-45 % de la glucosa circulante, Bauman y Currie, 1980; Marteniuk y Herdt, 1988), y la limitada ingesta de energía a causa del reducido volumen del rumen. Cuando la vaca, la oveja y la cabra gestan un único feto, el volumen feto-placentario al final de la gestación representa un 6-9 % de la masa corporal de la madre. Cuando las madres gestan mellizos este porcentaje llega casi a duplicarse, y casi a triplicarse cuando gestan trillizos (Oetzel, 1988; Laporte-Broux *et al.*, 2011). Como hemos visto, las necesidades de glucosa se incrementan hasta un 45 % de la glucosa materna en los pequeños rumiantes que gestan más de un feto, muy lejos de las necesidades de glucosa para la lactación de la vaca lechera (80 %). La viabilidad del/de los feto/s a corto plazo se garantiza mediante unos mecanismos de protección en el suministro de glucosa a la unidad feto-placentaria, aunque ocurra a pesar de la homeostasis de la glucosa en la madre

(Hay *et al.*, 1984; Marteniuk y Herdt, 1988; Limesand *et al.*, 2007). El problema de la toxemia de la gestación radica en el volumen abdominal que el útero grávido usurpa al rumen, es decir, cuantos más fetos se están gestando menos capacidad ruminal tendrá la madre, y por lo tanto, su capacidad de ingestión de materia seca y energía será reducida (Rook, 2000). Considerando que en las ovejas y en las cabras los embarazos de fetos múltiples son mucho más comunes que en las vacas, la cetosis gestacional es más frecuente en los pequeños rumiantes que en las vacas. De hecho, cuando la cetosis aparece en vacas nodrizas, éstas suelen gestar fetos múltiples (Rook, 2000). Si la vaca lechera entra en balance energético negativo, las respuestas fisiológicas para combatirlo son reducir la producción de leche y la fertilidad. De esta forma, la vaca lechera puede lidiar con el trastorno, que a menudo cursa de forma subclínica (Whitaker *et al.*, 1983). Sin embargo, cuando la oveja o la cabra entran en balance energético negativo durante la gestación, no pueden reducir el aporte de glucosa al/a los feto/s, y por eso, la capacidad de mantener la homeóstasis es limitada. Por lo tanto, el riesgo de aparición de la toxemia de gestación es mayor, así como la gravedad de sus signos clínicos y del pronóstico.

Según Smith (2002), las cabras son más resistentes a la toxemia de gestación que las ovejas. Si bien es cierto que en las cabras las características metabólicas básicas son muy similares a las de ovejas, e incluso a las de las vacas, la capacidad de adaptación fisiológica a diversas condiciones agro-climáticas es mayor en las cabras (Morand-Fehr, 2005). Además, parece ser que la oveja posee una menor eficiencia metabólica que la vaca (Radostits *et al.*, 1994), y una elevada sensibilidad a los estreses de origen ambientales y nutricionales (Russel, 1985). Por otro lado, la cabra manifiesta un temperamento de dominancia y sumisión más intenso que las ovejas y las vacas, y las cabras sumisas son animales diana para la toxemia de gestación, porque suelen reducir considerablemente el consumo de alimento (Radostits *et al.*, 1994). En resumen, los pequeños rumiantes son más propensos a padecer la toxemia de gestación que las vacas. Entre ellos, a paridad de número de fetos, la oveja es más predispuesta a manifestarla que la cabra. Pero hay que tener en cuenta que los partos dobles o triples, que son factores predisponentes importantes en la aparición del trastorno, son más frecuentes en la cabra que en la oveja.

3.1.5. Cetosis de la lactación en cabra

Según varios autores, la cabra se encuentra entre la oveja y la vaca en su susceptibilidad a la cetosis de la lactación, donde la vaca es la más susceptible y la oveja la

menos (Schultz, 1974, Radostits *et al.*, 1994). Esto es razonable, ya que las necesidades de glucosa para el inicio de la lactación son mayores en la vaca, luego en la cabra, y por último en la oveja, como ya hemos visto. La cetosis de la lactación en la cabra es muy poco frecuente y hay pocos casos descritos (Gupta *et al.*, 2008). La escasa bibliografía al respecto hace pensar que actualmente la cetosis de la lactación no es un problema en las explotaciones lecheras caprinas.

Comparada con la toxemia de la gestación, la cetosis de la lactación no suele ser letal para el animal y a menudo se cura espontáneamente (Baird, 1982). Sin embargo, este trastorno aparece frecuentemente de una forma subclínica, por lo que se hace más complicada su detección. El síntoma y el problema más inmediato es la disminución de la producción de leche. Esta está causada por la reducida disponibilidad de glucosa para la glándula mamaria, y por la reducción de la eficiencia hepática (Baird, 1982; Kronfeld, 1982). Además, los animales que han padecido cetosis subclínica son más sensibles a volverla a padecer en las siguientes lactaciones, y a manifestar otros problemas de carácter reproductivo, como la reducción de la fertilidad y endometritis (Radostits *et al.*, 1994; Kulcsár *et al.*, 2006).

Tal y como pronosticó Baird (1982) y como confirmaron posteriormente otros autores (Ospina *et al.*, 2010; McArt *et al.*, 2011), la cetosis de la lactación es un problema en las explotaciones lecheras intensivas, puesto que este trastorno está asociado con animales de alta producción. Los sistemas de producción lechera caprina se están intensificando, y la mejora genética está favoreciendo el aumento de la producción de leche en razas caprinas, que es el factor desencadenante de la cetosis de la lactación. Por lo tanto, es verosímil que las cabras de alto rendimiento lechero manifiesten una mayor incidencia de la enfermedad en un futuro.

3.1.6. Factores que predisponen a la aparición de la toxemia de la gestación

Como ya se ha comentado, las causas que predisponen a la aparición de la toxemia de gestación son múltiples, y pueden ser clasificados en tres grandes grupos: inherentes al animal, estresantes y nutricionales (González-Montaña y Rejas-López, 1995; Cal-Pereyra, 2012).

3.1.6.1. Factores inherentes al animal

Durante el último tercio de la gestación es fundamental obtener la máxima ingestión alimento posible, ya que las necesidades energéticas de las hembras aumentan espectacularmente. No obstante, en este periodo aparece una disminución de la ingesta de materia seca, debida a una disminución fisiológica del apetito, y a una capacidad ruminal reducida como consecuencia del aumento de volumen del útero gestante (Andrews, 1997; Rook, 2000). Se ha demostrado que la hipofagia está relacionada con la hipercetonemia (Rossi *et al.*, 2000), por lo tanto, la disminución de la ingesta se ve dramáticamente potenciada, en caso de aumento de la cetonemia.

Cuanto más fetos gesta un animal más probabilidades tiene de padecer la toxemia de gestación, debido a las altas demandas energéticas de los fetos y al importante aumento del volumen del útero que reduce el espacio intraruminal (Rook, 2000). Este factor predisponente es relevante sobre todo en la especie caprina, ya que suele tener gestaciones dobles y triples con más frecuencia con respecto a la ovina. El comportamiento jerárquico es típico de los ruminantes domésticos, y puede llegar a ser un factor predisponente a la toxemia de gestación cuando las hembras dominantes no dejan comer a las sumisas (Radostits *et al.*, 1994).

Causas como la edad avanzada de las madres, la mala dentición y las enfermedades concomitantes también inciden negativamente, limitando el consumo de alimento. Las parasitosis gastrointestinales y hepáticas (fascioliasis hepática y quistes hidáticos) o cualquier otra hepatopatía que provoque insuficiencia hepática, deben ser asimismo consideradas como factores predisponente a la aparición de la toxemia de gestación (González-Montaña *et al.*, 1995; Rook, 2000).

Las características genéticas de la raza o genotipo utilizado (potencial de la producción, capacidad de adaptación, etc.) son factores que influyen en la aparición de la toxemia de gestación. A paridad de condiciones, una raza altamente prolífica y productiva tiene unas necesidades energéticas muy elevadas, debido al número alto de fetos gestados y a la preparación metabólica y física de la ubre a la inminente lactación (Rook, 2000).

Varios autores coinciden en que la susceptibilidad de padecer la toxemia de gestación está relacionada con diferencias genéticas entre individuos y razas (Wastney *et al.*, 1982; Duffield, 2000; Duehelmeier *et al.*, 2011). Algunos estudios sugieren que los animales susceptibles probablemente exhiben un peor funcionamiento de la insulina (Wastney *et al.*,

1982; Sigurdsson, 1988). Los animales resistentes a la insulina, incapaces de regular la homeostasis de la glucosa durante la última parte de la gestación, podrían ser más susceptibles a la toxemia de gestación, que aquellos animales susceptibles a la insulina. En teoría, la absorción constante de glucosa por parte del feto a la madre podría conllevar a una reducción en la producción de insulina por parte de las células β del páncreas. Una menor producción de insulina reduciría la habilidad de la hembra para responder a las fluctuaciones en sus propios niveles de glucosa en la sangre. Además, las diferencias genéticas que tienen que ver con la resistencia o la susceptibilidad a la insulina, podría explicar la enorme variabilidad observada en el manejo de los rebaños que parecen provocar los casos clínicos de toxemia de gestación. La genética y la variabilidad individual podrían explicar por qué rebaños estables desde hace tiempo, con un inadecuado programa nutricional experimentan muy pocos casos de toxemia de gestación. A lo mejor, en un determinado periodo de tiempo, los individuos insulino-resistentes han sido naturalmente eliminados del pool genético del rebaño (Wastney *et al.*, 1982; Sigurdsson, 1988).

3.1.6.2. Factores estresantes

Los factores estresantes originan un mayor gasto de energía, promoviendo el consumo de las reservas energéticas y una disminución de la ingesta de alimento. Además, los fenómenos estresantes duraderos promueven la liberación constante de hormonas glucocorticoides, que inducen una movilización de la grasa corporal y pueden provocar el aborto. Entre estos factores destacan las condiciones climáticas adversas (frío, lluvias intensas, heladas, granizo), el transporte, el manejo inadecuado y el esquila.

El transporte origina un considerable estrés en cualquier animal doméstico, por lo tanto, está ampliamente regulado por el Reglamento (CE) nº 1/2005, también en caso de hembras preñadas. Cuando la gestión de la explotación es inadecuada pueden surgir problemas que influyen negativamente sobre el bienestar animal, como el hacinamiento, el número de plazas de comedero inferior al número de animales, una cantidad escasa de bebederos por animal, y el manejo físico inapropiado. En muchos sistemas productivos, las ovejas y las cabras productoras de fibra son esquiladas unas 4 semanas antes del inicio de la estación de partos. El esquila tiene consecuencias positivas: facilita la evaluación visual de la condición corporal, reduce las necesidades de espacio de cama, favorece el aprovechamiento de la ventilación y de la recogida de deyecciones, permite una mejor visualización del parto y contribuye a una menor mortalidad neonatal. Por otro lado, sin embargo, la asociación entre el

esquileo y condiciones climáticas adversas, obliga a un aumento del tiempo de permanencia del rebaño en estabulación, y de los niveles energéticos de la dieta (Andrews, 1997; Rook, 2000).

3.1.6.3. Factores nutricionales

Con respecto a los niveles de mantenimiento, las necesidades energéticas durante el último tercio de la gestación aumentan aproximadamente un 130 % en cabras con una gestación simple y hasta un 200 % en cabras con gestación triple (Agabriel, 2007). Este incremento es debido al hecho de que cerca del 85 % del crecimiento fetal ocurre durante las últimas 6 semanas de gestación (Kimberling, 1988). En esta situación, una hembra subnutrida no tendrá suficientes disponibilidad de reservas lipídicas para hacer frente al balance energético negativo, por lo tanto, aumenta su probabilidad de desarrollar la toxemia de gestación.

Por otro lado, también la sobrealimentación en los primeros meses de gestación predispone a padecer toxemia de gestación. Los animales que llegan al último tercio de gestación con sobrepeso disminuyen la ingesta de forma voluntaria, porque la capacidad ruminal se ve reducida doblemente por el aumento del volumen del útero gestante, y también por el considerable depósito de grasa intraabdominal (Rook, 2000). Además, el sobrepeso favorece la aparición de hígado graso, un trastorno que predispone a la aparición de la toxemia de gestación porque limita la capacidad metabólica de los hepatocitos (Cal-Pereyra *et al.*, 2009).

3.1.7. Clasificación de la toxemia de la gestación

Algunos autores clasifican la toxemia de la gestación en 4 tipos (Radostits *et al.*, 1994; Rook, 2000), que varían ligeramente en cuanto a tratamiento, prevención y pronóstico.

- Toxemia de la gestación primaria: es la manifestación más común del trastorno, que se origina por una combinación de los factores desencadenantes.
- Toxemia de la gestación de animales obesos: ocurre en animales sobrealimentados (condición corporal >3,5) durante el último tercio de la

gestación. Los animales obesos reducen la ingesta voluntaria más que los otros, por el aumento del tamaño del útero grávido y el incremento de la grasa intraabdominal, que compiten con el rumen por una cantidad finita de espacio abdominal.

- Toxemia de gestación por ayuno: aparece en animales excesivamente delgados, normalmente en sistemas productivos extensivos en condiciones de sequía y sin posibilidad de suplementación de alimento.
- Toxemia de gestación secundaria: ocurre como consecuencia a otras enfermedades concomitantes, como enfermedades podales o infestaciones por nematodos.

3.1.8. Signos clínicos, hallazgos *postmortem* y diagnóstico

Durante las fases iniciales la enfermedad cursa de forma subclínica, por lo que los animales afectados no manifiestan signos clínicos. Progresivamente aparecen indolentes, inapetentes y tienden a aislarse del rebaño (Van Saun, 2000; Cal-Pereyra, 2007). En las últimas etapas los animales desarrollan acidosis metabólica y terminan muriendo el 80-90 % de los casos no tratados (González-Montaña y Rejas-López, 1995; Rook, 2000). Estos animales suelen presentar hallazgos *postmortem* tales como el útero con fetos muertos, hiperplasia de las glándulas adrenales, y lesiones cerebrales (González-Montaña y Rejas-López, 1995; Jeffrey y Higgins, 1992). La presencia de esteatosis hepática está asociada a animales obesos (Van Saun, 2000). Tras una correcta anamnesis, el diagnóstico definitivo de la toxemia de la gestación se realiza mediante un análisis bioquímico, donde el β -hidroxibutirato, los AGNE y la glucosa en la sangre son los indicadores más importantes y más fiables. El β -hidroxibutirato y los AGNE revelan la enfermedad en su forma subclínica, mientras que la glucosa disminuye cuando ya están presentes los síntomas de la toxemia de gestación. A continuación, se presentan un conjunto de valores bioquímicos que más frecuentemente se alteran significativamente cuando el animal padece la toxemia de gestación (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Ejemplo de perfil bioquímico de ovejas al final de la gestación sanas o con toxemia de gestación.

Metabolitos	Sanas	Enfermas	Referencias
β-hidroxibutirato (mmol/L)	<0,86 ±0,26	>0,86 ±0,26	Lynch y Jackson, 1983
Glucosa (mg/dL)	60,36±28,83	40,18±27,03	Schlumbohm y Harmeyer, 2004
Aspartato aminotransferasa (AST) (U/L)	41,1±8,1	129,9±14,6	Yarim y Ciftci, 2008
Alanina amonotransferasa (ALT) (U/L)	25,0±6,4	49,3±9,8	Yarim y Ciftci, 2008
Gamma glutamiltransfera (GGT) (U/L)	22,3±4,9	43,1±11,9	Yarim y Ciftci, 2008
Insulina (µg/L)	0,68±0,035	0,38±0,24	Henze <i>et al.</i> , 1998
Cortisol (nmol/L)	0,42	2,25	Al-Qudah, 2011
Ácidos grasos no esterificados (AGNE) (mmol/L)	0,38-0,62	0,71-1,90	Cal-Pereyra <i>et al.</i> , 2009
Proteínas totales (g/dL)	6,8±0,5	5,2±0,3	Yarim y Ciftci, 2008
Albumina (g/dL)	3,2±0,2	2,1±0,2	Yarim y Ciftci, 2008
Globulinas (g/dL)	3,6±0,2	3,1±0,2	Yarim y Ciftci, 2008
Creatinina (mg/dL)	1,4±0,2	1,7±0,3	Yarim y Ciftci, 2008
Urea (mmol/L)	5,68±0,365	6,22±0,598	Yarim y Ciftci, 2008
Calcio (mmol/L)	2,49±0,18	2,17±0,26	Henze <i>et al.</i> , 1998
Potasio (mmol/L)	4,7±0,5	5,0±0,5	Lynch and Jackson, 1983

Tabla 2. Ejemplo de perfil bioquímico y pH urinario de cabras al final de la gestación sanas o con toxemia de gestación.

Metabolitos y pH urinario	Sanas	Enfermas	Referencias
β-hidroxibutirato (mmoL/L)	0,33±0,03	0,74±0,025	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Glucosa (mg/dL)	52,2±2,52	24,1±0,72	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Aspartato aminotransferasa (AST) (U/L)	53±4,16	89±2,31	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Alanina amonotransferasa (ALT) (U/L)	28,67±0,38	65,83±1,9	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Insulina (µg/L)	0,45±0,008	0,69±0,016	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Cortisol (nmol/L)	488,34 ±77,25	1194,92 ± 121,94	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Ácidos grasos no esterificados (AGNE) (mmoL/L)	0,17±0,02	0,36±0,04	Barakat <i>et al.</i> , 2007
Proteínas totales (g/dL)	6,3±0,2	3,2±0,05	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Albumina(g/dL)	3,76±0,22	1,62±0,14	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Globulinas(g/dL)	2,49±0,08	1,57±0,1	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Creatinina (mg/dL)	1,25±0,060	2,39±0,140	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Urea (mmoL/L)	4,82±1,53	8,76±0,49	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Calcio (mmoL/L)	2,5±0,21	1,6±0,08	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Potasio (mmoL/L)	4,8±0,34	3,01±0,08	Hefnawy <i>et al.</i> , 2011a
Fosforo (mg/dL)	6,73±0,13	5,93±0,13	Sotillo <i>et al.</i> , 1993
pH urinario	8,38±0,33	5.94±0.90	González <i>et al.</i> , 2011

3.1.9. Tratamiento

Antes de tratar a los animales enfermos es oportuno revisar las opciones de tratamiento, los costes y el pronóstico. Normalmente, es más importante centrarse en la prevención de la enfermedad en el resto del rebaño que no en el tratamiento de los animales afectados (Rook, 2000). La ración se debe corregir para el grupo, y evaluar el manejo de la alimentación (por ejemplo, el espacio adecuado de comedero y la frecuencia de alimentación). Los animales que dejan de comer deben ser separados del grupo y alimentados a mano, teniendo en cuenta que los pequeños rumiantes deben poder visualizar al resto del grupo para sentirse cómodos. Se puede intentar estimular el apetito del animal con concentrados energéticos que son muy apetecibles. La terapia se focaliza en invertir el balance energético negativo y aumentar los niveles de glucosa en sangre. Los animales en estadios tempranos de la enfermedad a menudo pueden ser tratados con éxito administrando un gluconeogénico como el propilen glicol vía oral, 60 mL, dos veces al día, durante 3 días (Manual Merck, 2000). La eficacia del propilen glicol es buena siempre que la actividad hepática no esté comprometida (Rook, 2000), ya que en casos de esteatosis hepática la capacidad de utilizar el propilen glicol para la gluconeogénesis es reducida y, además, el propilen glicol puede acumularse en el hígado y contribuir a la aparición de depresión y somnolencia (Herdt y Emery, 1992). A parte de la acción gluconeogénica, se ha demostrado que el propilen glicol favorece la ingestión de agua, lo cual es de gran ayuda ya que estos animales a menudo presentan deshidratación. En este sentido, el uso de soluciones rehidratantes concentradas por vía oral activan el proceso de absorción en el intestino delgado, provocando un rápido transporte de agua y sodio a todo el organismo, y la glucosa sanguínea aumenta rápidamente tras la administración de una solución rehidratante (Buswell *et al.*, 1986). Los glucocorticoides son también comúnmente utilizados puesto que tienen un efectos hiperglucemizante indirecto (Filsell *et al.*, 1969; Baird y Heitzman, 1971), reducen la cetogénesis indirectamente (Herdt y Emery, 1992), aumentan el apetito (Bassett, 1963; Adams y Sanders, 1992) e inducen el aborto (Thorburn *et al.*, 1977), este último siempre y cuando el ganadero prefiera salvar a la madre antes que al feto. La administración de insulina, la hormona que induce hipoglucemia para el tratamiento de una enfermedad que cursa con hipoglucemia parece paradójica, sin embargo, la insulina posee un potente efecto antilipolítico y anticetogénico de gran interés terapéutico (Brockman y Laarveld, 1985; Herdt y Emery, 1992). La insulina se administra junto con la glucosa a través de fluidoterapia parenteral (Manual Merck, 2000).

Si el animal con toxemia de gestación sobrevive hasta el final de la gestación, generalmente el parto cursa con distocia, y en muchos de estos casos aparece también la retención de placenta, lo que conduce a metritis (Marteniuk y Herdt, 1988; Rook, 2000). Los animales afectados que se recuperan, a menudo paren crías muertas o pequeñas y débiles, que mueren a los pocos días de nacer. Estas madres generalmente producen poca leche, sus crías son susceptibles a la hipotermia y diarreas, y la mortalidad postparto suele ser alta (West, 1996; Andrews, 1997). En estos animales el reinicio de la actividad cíclica del ovario, la respuesta ovárica y la fertilidad están muy disminuidas (Radostits *et al.*, 1994; Kulcsár, 2006).

3.1.10. Gluconeogénicos

Existen materias primas, que administradas vía oral, tienen capacidad gluconeogénica, y entre otros incluyen el propilen glicol y el glicerol. En el rumen, el propilen glicol (o propanodiol) puede ser absorbido directamente a través de la pared ruminal, o ser convertido a propionato, propanol o lactato (Clapperton y Czerkawski, 1972; Czerkawski y Breckenridge, 1973; Ferraro *et al.*, 2009). El propilen glicol puede tomar una ruta u otra en mayor o menor medida en función de las condiciones de alimentación, de la composición de la ración, y de la adaptación del ecosistema ruminal a esta materia prima, como se explica a continuación. Si el propilen glicol se administra de forma prolongada la microbiota ruminal se adapta al sustrato, y aumenta la conversión del propilen glicol a ácidos grasos volátiles (Emery *et al.*, 1964). De hecho, la forma de administración del propilen glicol parece ser importante para desencadenar este efecto. Christensen *et al.* (1997) compararon la administración del propilen glicol en una sola dosis (administración oral o en el concentrado administrado en una sola toma diaria) frente a la inclusión de la misma dosis en la mezcla Unifeed de ganado vacuno. La administración en la ración Unifeed tuvo un efecto pequeño, mientras que la administración en una sola dosis redujo considerablemente la movilización de grasa. El propilen glicol reduce la proporción relativa de acetato y propionato en el rumen (Christensen *et al.*, 1997), sobre todo en condiciones de alimentación restringida (Grummer *et al.*, 1994). En un estudio *in vitro* realizado con líquido ruminal de oveja, se observó como la conversión de propilen glicol a propionato era reducida en una ración con una elevada proporción forraje/concentrado, comparada con una ración con una baja proporción de forraje/concentrado. En el mismo estudio se demostró también que la presencia de azúcares fácilmente fermentables, como la melaza y la pulpa de remolacha, favorecen la conversión de propilen glicol a propionato (Czerkawski y Breckenridge, 1973). En cualquier caso, el propilen glicol desaparece

rápidamente del rumen tras 1-3 horas (Emery *et al.*, 1967). En el hígado, el propilen glicol absorbido por el rumen se convierte primero en lactato y posteriormente en piruvato (Ruddick, 1972), y finalmente en oxalacetato. El oxalacetato es un metabolito limitante para el ciclo de Krebs y para la gluconeogénesis (Krebs, 1966), y su presencia favorece la producción de glucosa a través de la gluconeogénesis, y la reducción de los AGNE y de los cuerpos cetónicos (Chiofalo *et al.*, 2005). La suplementación de propilen glicol redujo los niveles plasmáticos de β -hidroxibutirato durante el parto, los AGNE durante el postparto, y los indicadores de la funcionalidad hepática durante el periparto en cabra (Chiofalo *et al.*, 2009). Del mismo modo, en ovejas redujo las concentraciones plasmáticas de β -hidroxibutirato y AGNE, y aumentó la de glucosa (Chiofalo *et al.*, 2005). En una revisión, Nielsen e Ingvarstsen (2004) concluyeron que el propilen glicol generalmente incrementa la glucosa y la insulina en sangre, y reduce el β -hidroxibutirato y los AGNE en vacas. También a nivel productivo se han observado mejoras notables en pequeños ruminantes, como el aumento de la producción, la grasa y la proteína de leche, y la ganancia de peso de los corderos (Chiofalo *et al.*, 2005 y 2009). En vacas la producción de leche fue inalterada o incrementada por el propilen glicol (Hoedemaker *et al.*, 2004; Juchem *et al.*, 2004; Chung *et al.*, 2009; Lomander *et al.*, 2012).

El glicerol (o glicerina, o propanatriol) se metaboliza en el rumen a ácidos grasos volátiles, principalmente ácido propiónico (Garton *et al.*, 1961), o se absorbe directamente por la pared ruminal (Ferraro *et al.*, 2009), lo que le permite entrar en vías gluconeogénicas. En varios experimentos realizados en vacas lecheras se observó como el glicerol puede tener efectos beneficiosos en la prevención de la cetoacidosis, por su efecto gluconeogénico (Johnson, 1955; Fisher *et al.*, 1971; Sauer *et al.*, 1973). Fisher *et al.* (1971) concluyeron que las propiedades gluconeogénicas del glicerol podrían atribuirse tanto al aumento del consumo de materia seca, como a su conversión en ácido propiónico. En un estudio con ovejas toxémicas, el glicerol administrado vía oral redujo los cuerpos cetónicos en sangre, e incrementó la concentración plasmática de citrato (Reid, 1960). Aunque no se observaron mejoras clínicas, los resultados sugieren que el glicerol inhibe la cetogénesis. En estudios en vaca, el glicerol aumentó los niveles plasmáticos de glucosa (DeFrain *et al.*, 2004; Osman *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2009b), pero no redujo los de β -hidroxibutirato y AGNE (Lomander *et al.*, 2012). Sin embargo, otros autores encontraron resultados opuestos al administrar glicerol por vía oral a vacas lecheras, es decir, una disminución de la ingesta de materia seca y un aumento de la concentración plasmática del β -hidroxibutirato, debido probablemente a un aumento de la producción de butirato en el rumen (DeFrain *et al.*, 2004). Desde un punto de vista productivo, aumentó producción de leche en vaca (Bodarski *et al.*, 2005; Lomander *et al.*, 2012).

El conjunto de los estudios demuestran que el glicerol y el propilen glicol son una herramienta para tratar la toxemia de la gestación en pequeños rumiantes enfermos y reducir el riesgo de su aparición en animales sanos. La literatura indica también que hay cierta evidencia que el efecto gluconeogénico repercute favorablemente sobre la producción de leche y su composición.

3.1.11. Prevención

Los programas de prevención van generalmente enfocados a solucionar las debilidades de aquellos factores predisponentes que se puedan modificar: el manejo y el programa de alimentación. Si se realizan de forma correcta el riesgo de la aparición de la toxemia de gestación se reduce considerablemente. En cuanto al manejo dentro de la explotación se ha de evitar en todo momento la sobrepoblación, y se tiene que asegurar el acceso al alimento a todos los animales para obviar problemas de dominancia. La nutrición juega un papel esencial en los sistemas de producción de los pequeños rumiantes por varias razones. En primer lugar, es el factor que los ganaderos pueden manipular con más facilidad y rapidez, como por ejemplo, la cantidad de alimentos, la composición de la dieta y la gestión de los animales en los pastos (Morand-Fehr, 2005). En segundo lugar, la nutrición representa el coste de producción más importante: del 50 % al 85 % de los costes totales para las granjas lecheras en las condiciones de la Unión Europea (Quin, 1995). Además, un manejo nutricional correcto es la base para optimizar la producción y reducir los costes de alimentación. En tercer lugar, la alimentación tiene un impacto directo en los otros componentes de los sistemas de producción, tales como la aparición de patologías y el rendimiento reproductivo de los rebaños (Morand-Fehr, 2005). Un correcto protocolo de manejo nutricional debe tener en cuenta el nivel productivo (características genéticas de la raza o genotipo utilizado) y las necesidades nutricionales del rebaño (Agabriel, 2007). Los pequeños rumiantes pueden movilizar sus reservas corporales de acuerdo con el estado nutricional, el estado fisiológico y la disponibilidad de lípidos del tejido adiposo. Las necesidades nutricionales varían en los periodos de mantenimiento, de cubrición, de gestación temprana, de gestación tardía y de lactación. En cualquiera de estos periodos es necesario modificar la energía metabolizable de la dieta en función del estadio fisiológico y las necesidades. Como la toxemia de gestación ocurre durante la gestación tardía, el manejo nutricional durante la cubrición, la gestación temprana y la gestación tardía es cuando más afecta a la incidencia de la enfermedad.

Normalmente, la lactación y el mantenimiento son relativamente poco importantes en la toxemia de gestación, por lo que normalmente no se consideran.

La condición corporal evalúa el estado nutricional del animal y refleja las reservas lipídicas corporales (Morand-Fehr, 2005). Es una herramienta fácil, barata e inocua para el animal. Una variación de 1,5 puntos por encima o por debajo de lo recomendado durante la gestación pueden llevar al desarrollo de la toxemia de gestación (Andrews, 1997). En todo momento hay que evitar hembras obesas (condición corporal >3,5) o caquéticas (condición corporal <2), puesto que estas condiciones favorecen la aparición de la toxemia de gestación y disminuyen la fecundidad. Por lo tanto, es recomendable su medición semanal desde el periodo reproductivo hasta el parto (Rook, 2000; Tabla 3). Esto nos puede permitir actuar rápidamente a través de cambios en la planificación nutricional si es necesario. En general, los pequeños rumiantes, sobre todo las cabras, tienen la ventaja de responder rápidamente a un cambio de dieta.

Tabla 3. Condición corporal recomendada e incremento de las necesidades energéticas para los diferentes periodos productivos de una oveja y de una cabra (Fuente, NRC, 1981; NRC, 1985).

Periodo productivo	Condición corporal ¹	Incremento necesidades energéticas
Mantenimiento	2,0-2,5	-
Cubrición	3	>10-20 %
Gestación temprana (primeras 15-17 semanas)	3	>10-20 %
Gestación tardía (últimas 4-6 semanas)	3,0-3,5	>30-65 %
Parto	3,5	>30-65 %

¹ Escala del 1 al 5 donde 1 significa caquética y 5 obesa.

Durante el periodo de cubrición y de gestación temprana las necesidades energéticas de las ovejas y de las cabras aumentan ligeramente. Durante la cubrición (unos 30 días) se tiene que aumentar el nivel energético de la ración para obtener un engorde del 10-20 % en el peso de la hembra, y hay que mantenerlas en una condición corporal de 3,0. Es importante asegurarse que el forraje administrado o pastado sea de buena calidad. Es recomendable suplementar a los animales con alfalfa (0,5-1Kg por hembra) y concentrado (Rook, 2000),

recordando siempre que cada cambio en dieta tiene que realizarse de forma progresiva para una correcta adaptación de la microbiota ruminal. Al mes de gestación, es oportuno determinar el número de fetos gestados (por ecografía) para poder dividir los animales en grupos en función de sus necesidades energéticas. A título de ejemplo, se podrían separar los animales en tres grupos: 1) hembras con mellizos junto a hembras delgadas con un único feto; 2) hembras con trillizos junto a hembras delgadas con mellizos; 3) hembras obesas junto a hembras con un único feto. También la evaluación del desarrollo de la ubre puede ser una herramienta útil para la clasificación de las hembras. Por lo general, durante las últimas 6 semanas de gestación la hembra gana un 10 % de su peso si gesta una sola cría, y un 18 % si lleva gemelos (Radostits *et al.*, 1994). Este aumento de peso está asociado no solamente al crecimiento fetal, sino también al aumento de las reservas lipídicas y al desarrollo de la ubre, ambos relacionados a la inminente lactación. En este periodo el feto gana el 70-80 % de su peso al parto. Además, en este periodo la nutrición de la madre afecta a la tasa de supervivencia neonatal, puesto que las crías demasiado ligeras tienen una tasa de mortalidad mayor, y el parto de crías demasiado pesadas suele cursar con distocias. Durante este periodo es necesario administrar concentrado en la ración para garantizar la salud de los animales. De hecho, el concentrado es un alimento muy energético, ocupa un espacio reducido en el rumen, y favorece el apetito de los animales. Por otro lado, su administración no tiene que superar los límites recomendados para no provocar la aparición de la acidosis. Sería recomendable formular raciones con un 0,5-0,75 % del peso vivo del animal en forma de concentrado. A pesar de que la grasa sea la materia prima más energética disponible, no es recomendable su administración en la dieta ya que en varias ocasiones ha demostrado reducir el apetito (Palmquist, 1991) y ha demostrado no afectar favorablemente en la disminución de la movilización de grasa y en la producción (Chilliard, 1993). En la formulación de las dietas del programa nutricional hay que tener en cuenta también el incremento de necesidades protéicas y minerales. De hecho, las necesidades feto-placentarias de aminoácidos pueden llegar a representar el 72 % de las necesidades de aminoácidos maternos (Bell, 1995).

3.1.12. Conclusiones sobre la toxemia de la gestación

El riesgo de aparición de la toxemia de la gestación es omnipresente en cualquier granja de pequeños rumiantes lecheros y en mayor medida si se trata de sistemas intensivos. La medida más eficaz para reducir este trastorno es su prevención, que implica conocimiento, esfuerzo, tiempo y dinero por parte del ganadero y de sus colaboradores. La ventaja es que

cumpliendo con las normas de prevención de la toxemia de la gestación, el ganadero favorece al mismo tiempo que los animales expresen su máximo potencial productivo.

4. Aditivos como estrategia zootécnica

Como ya hemos visto, en los sistemas intensivos es fundamental cuidar el manejo alimenticio para prevenir la aparición de trastornos digestivos y metabólicos. Una dieta bien formulada y rica en materias primas de alta calidad mejora el estado fisiológico e inmunológico de los animales. Asimismo, la alimentación es una herramienta efectiva y flexible a la hora de aumentar la producción. A través de la alimentación, de hecho, es posible maximizar la ingesta de nutrientes en un determinado periodo de tiempo, y manipular el ecosistema ruminal para una mayor eficiencia en la utilización de estos nutrientes. Los aditivos zootécnicos suponen una estrategia para influir positivamente en la producción, el rendimiento o el bienestar animal, y así aumentar la producción. Los aditivos zootécnicos forman parte de los aditivos para alimentos cuya clasificación vigente de la Comunidad Europea es oportuno revisar.

4.1. Clasificación

Este apartado está dedicado al uso de los aditivos para alimentos destinados al consumo animal, según el Reglamento nº 1831/2003 de la ley 268/29 del Parlamento Europeo y del Consejo. Los aditivos para alimentos de consumo animal se definen como sustancias, microorganismos y preparados distintos de las materias primas de alimentación y de las premezclas, que se añaden intencionadamente a los piensos o al agua. Los aditivos están clasificados en una o más las siguientes categorías o subcategoría, dependiendo de sus funciones y propiedades.

- **Tecnológicos:** cualquier sustancia añadida a los alimentos para animales con fines tecnológicos:
 - Conservantes: sustancias o microorganismos que protegen los alimentos para animales contra el deterioro causado por los microorganismos o sus metabolitos.
 - Antioxidantes: sustancias que prolongan el periodo de conservación de los alimentos para animales y de las materias primas para los alimentos para animales, protegiéndolos contra el deterioro causado por la oxidación.
 - Emulsionantes: sustancias que hacen posible la formación o el mantenimiento

de una mezcla homogénea de dos o más fases no miscibles en los alimentos para animales.

- Estabilizadores: sustancias que posibilitan el mantenimiento del estado físico-químico de los alimentos para animales.
 - Espesantes: sustancias que aumentan la viscosidad de los alimentos para animales.
 - Agentes gelificantes: sustancias que dan textura a un alimento para animal mediante la formación de un gel.
 - Ligantes: sustancias que aumentan la tendencia a adherirse de las partículas de los alimentos para animales.
 - Sustancias para el control de la contaminación por radionucleidos: sustancias que suprimen la absorción de radionucleidos o promover su excreción.
 - Antiaglomerantes: sustancias que reducen la tendencia de las partículas individuales de un alimento para animales a adherirse.
 - Reguladores de la acidez: sustancias que regulan el pH de los alimentos para animales.
 - Aditivos para ensilaje: sustancias, incluidos enzimas o microorganismos, destinadas a ser incorporadas a los alimentos para animales, para mejorar la producción del ensilaje.
 - Desnaturalizantes: sustancias que, cuando se utiliza para la fabricación de materias primas transformadas, permiten la identificación del origen de las materias primas o de los alimentos para animales.
- **Organolépticos:** cualquier sustancia que, añadida a los alimentos, mejora o modifica las propiedades organolépticas de los alimentos, o las características visuales de los alimentos de origen animal.
 - Colorantes:
 - Sustancias que añaden o recuperan el color de los alimentos para animales.
 - Sustancias que, suministradas a los animales, añaden color al alimento de origen animal.
 - Sustancias que afectan favorablemente al color de los peces y las aves ornamentales.
 - Aromatizantes: sustancias cuya inclusión en los alimentos para animales aumentan su aroma o palatabilidad.

- **Nutricionales:**
 - Vitaminas, pro-vitaminas y sustancias químicamente bien definidas con efecto similar.
 - Compuestos de oligoelementos.
 - Aminoácidos, sus sales y análogos.
 - Urea y análogos.

- **Zootécnicos:** cualquier aditivo utilizado para influir positivamente sobre el rendimiento de los animales en buen estado de salud o se utiliza para influir positivamente sobre el medio ambiente.
 - Digestivos: sustancias que, suministradas a los animales, facilitan la digestión de los alimentos ingeridos, actuando sobre determinadas materias primas.
 - Estabilizadores de la flora intestinal: microorganismos u otras sustancias definidas químicamente que, suministrados a los animales, tienen un efecto positivo sobre la flora intestinal.
 - Sustancias que influyen positivamente sobre el medio ambiente.
 - Otros aditivos zootécnicos.

- **Coccidiostáticos e histomonostáticos:** sustancias destinadas a eliminar o inhibir protozoos.

4.2. Los antibióticos

La introducción de los antibióticos como aditivos alimenticios coincidió con la cría intensiva de animales. Estos productos incluyen bambermicina, avilamicina, efrotomicina, y los antibióticos ionóforos (monensina, salinomicina, narasina y lasalocid) (Butaye *et al.*, 2003). Estos antibióticos han demostrado ser eficaces como promotores del crecimiento, permitiendo aumentar la productividad. No obstante, tras la aparición de residuos y resistencias cruzadas con bacterias causantes de enfermedades en humanos (Bates, 1997; Huyke *et al.*, 1998), creció la preocupación pública por el uso de antibióticos en la industria de alimentación animal. En enero de 2006 entró en vigor en la UE una nueva Directiva (1831/2003/CEE) según la cual los antibióticos no se autorizan como aditivos para la alimentación animal.

En las explotaciones de rumiantes, el uso de los antibióticos ionóforos permite modificar la fermentación ruminal hacia un incremento de la eficiencia de utilización de la energía, debido al incremento en la producción de propionato y la reducción de la producción de acetato y de metano (*Van Nevel y Demeyer, 1988*). Sin embargo, a raíz de la prohibición del uso de antibióticos en alimentación animal, surgió la necesidad de desarrollar y utilizar otros aditivos seguros para el animal y para el humano que permitan optimizar la utilización de nutrientes, y mejorar así el rendimiento productivo y la competitividad del sector.

4.3. Aditivos zootécnicos

Los aditivos zootécnicos para rumiantes incluyen extractos de plantas, cultivos microbianos (o probióticos), enzimas fibrolíticas y ácidos orgánicos. A continuación analizaremos aquellos aditivos cuyo efecto sobre el rendimiento productivo ha sido estudiado.

4.3.1. Extractos de plantas

En la última década ha habido mucho interés científico en la utilización de extractos de plantas como aditivos zootécnicos (*Calsamiglia et al., 2007; Benchaar et al., 2008a*). Los taninos, las saponinas y los aceites esenciales son compuestos bioactivos considerados seguros porque se extraen de las plantas, el alimento propio de los rumiantes (*Cowan, 1999*). El efecto de los extractos de planta y aceites esenciales sobre el rendimiento productivo se tratará con detalle porque es parte experimental de esta tesis.

4.3.1.1. Taninos

Los taninos (hidrolizables y condensados) son polímeros polifenólicos presentes en las plantas, capaces de modular favorablemente la fermentación ruminal. Los taninos hidrolizables pueden ser tóxicos para los animales porque sus productos de degradación son absorbidos por el intestino delgado (*Min et al., 2003*). Los taninos condensados se unen con la proteína de la dieta, formando complejos estables e insolubles que se disocian en el abomaso a $\text{pH} < 3,5$ (*Jones y Mangan, 1977*). Por este motivo, los taninos pueden reducir la degradabilidad de la proteína y el amoníaco en el rumen, y pueden aumentar el flujo de proteína hacia el intestino (*Al-Dobaib, 2009*). Además, se observó que los taninos redujeron a producción de metano (*Animut et al., 2008, Carulla et al., 2005, Grainger et al., 2009*), debido a

reducción de la población protozoaria asociada a la metanogénesis (Finlay *et al.*, 2004) y a la disminución de la degradación de la fibra (McSweeney *et al.*, 2001, McAllister *et al.*, 2005). Los taninos han demostrado reducir la ingesta de materia seca a dosis altas, probablemente debido a una menor palatabilidad del alimento, mientras que no afectan a la ingestión a dosis moderadas (Hervas *et al.*, 2003, Aerts *et al.*, 1999, Barry y Manley, 1984). Cuando la ingestión no se ve comprometida, la mejora en el rendimiento se atribuye al efecto positivo sobre el metabolismo proteico (Waghorn y Shelton, 1997, Makkar, 2003). Se ha documentado una mejora del peso de la canal, el índice de conversión y un mayor crecimiento de corderos y producción de lana (Wang *et al.*, 1996a, Ramirez-Restrepo *et al.*, 2005) y un incremento en la producción de leche en ovejas (Wang *et al.*, 1996b) y en vacas (Woodward *et al.*, 1999, West *et al.*, 1993, Bhatta *et al.*, 2000). Por otro lado, otros estudios no hallaron mejoras en el rendimiento debidas a la suplementación de taninos (Beauchemin *et al.*, 2007), o incluso los rendimientos se vieron comprometidos (Grainger *et al.*, 2009, Priolo *et al.*, 2000). Si bien se observaron efectos positivos sobre la fermentación ruminal y la producción, a nivel productivo los resultados son inconsistentes debido a su baja repetibilidad. De hecho, los efectos debidos a la adición de taninos dependen del tipo de tanino, de la dosis, y de la dieta (Patra y Saxena, 2011).

4.3.1.2. Saponinas

Las saponinas son glucósidos de esteroides o de triterpenoides, y se encuentran principalmente en las plantas. Aunque los mecanismos de acción sobre la microbiota ruminal no son del todo claros, son capaces de alterar y romper las membranas celulares (El Izzi *et al.*, 1989). A nivel ruminal, varios autores demostraron que las saponinas disminuyen la concentración de AGV totales (Santoso *et al.*, 2006; Lu y Jorgensen, 1987; Lovett *et al.*, 2006), pero, por otro lado, se ha observado que reducen la relación entre acetato y propionato (Santoso *et al.*, 2006; Lu y Jorgensen, 1987; Hristov, 1999). Hay también evidencia de que las saponinas reducen la concentración de nitrógeno amoniacal en el rumen (Santoso *et al.*, 2006; Navas-Camacho *et al.*, 1993; Wang *et al.*, 2009a), y aumentan la eficiencia de síntesis de proteína microbiana (Santoso *et al.*, 2006; Abreu *et al.*, 2004; Zinn *et al.*, 1998). El efecto más significativo sobre las poblaciones ruminales es la defaunación, observadas en la especie bovina (Lovett *et al.*, 2006; Hristov *et al.*, 1999), en la ovina (Lu y Jorgensen, 1987; Diaz *et al.*, 1993) y en la caprina (Santoso *et al.*, 2006). Como los protozoos en el rumen favorecen el reciclado de proteína a través de la depredación de las bacterias, la defaunación incrementa la

utilización de nitrógeno del rumiante y podría llevar a un incremento del crecimiento y de la producción de leche. De hecho, hay evidencia de que las saponinas aumentan el crecimiento (Navas-Camacho *et al.*, 1993; Hess *et al.*, 2004; Nasri *et al.*, 2011). Pero, por otro lado, varios autores observaron que las saponinas no afectan a la producción de leche (Wilson *et al.*, 1998; Lovett *et al.*, 2006), o incluso otros autores observaron un aumento de ingesta de materia seca sin mejoras en la producción de leche, sugiriendo una reducción de la eficiencia de utilización de los nutrientes (Holtshausen *et al.*, 2009). Los efectos de las saponinas sobre la ingestión de materia seca son inconsistentes, puesto que se ha observado mucha variabilidad entre estudios (Hu *et al.*, 2006; Lovett *et al.*, 2006; Nasri *et al.*, 2011).

4.3.1.3. Aceites esenciales

Dentro de los extractos de plantas, los aceites esenciales (EO) son metabolitos secundarios aromáticos y volátiles, conocidos desde la antigüedad por sus efectos antibacterianos, antioxidantes, saborizantes, antivíricos y antiinflamatorios (Acamovic y Brooker, 2005). Los aceites esenciales se obtienen por destilación de diferentes partes de las plantas, como la flor, las hojas, el fruto, la raíz, la corteza, las semillas o el tallo. Su composición y concentración varía en función de la variedad y del grado de madurez de la planta, de las condiciones de cultivo, de la salud de la planta, y de los métodos de procesado (Hart *et al.*, 2008). Los aceites esenciales han llamado la atención de los zootecnistas sobre todo por su poder antimicrobiano, un efecto que, si aplicado como aditivo zootécnico, podría tener repercusiones beneficiosas sobre la productividad. No está claro cómo actúan los aceites esenciales sobre el ecosistema ruminal, ya que existen diferentes teorías que explicarían su mecanismo de acción, y porque el conocimiento de las poblaciones microbianas y la interacción entre ellas y el huésped es todavía incompleto (Acamovic y Brooker, 2005; Helander *et al.*, 1998; Burt, 2004). Lo que está claro es que el efecto antimicrobiano de los aceites esenciales es de amplio espectro, y ha sido demostrado frente a gran variedad de microorganismos (Dorman y Deans, 2000).

Estudios pioneros *in vitro* demostraron que algunos aceites esenciales modifican las fermentaciones ruminales hacia una mejora de la eficiencia de utilización de los nutrientes (Busquet *et al.*, 2005a; Cardozo *et al.*, 2005; Castillejos *et al.*, 2006). Asimismo, estos autores demostraron que los efectos pueden pasar de beneficiosos a contraproducentes dependiendo de la dosis, del pH ruminal y de la dieta. Estos estudios inspiraron numerosos trabajos *in vivo*,

entre los cuales solo unos cuantos evaluaron el efecto de los aceites esenciales sobre el rendimiento. Hay que precisar también que la mayoría de estos trabajos están realizados en vacuno y en ovino, y ninguno en caprino. A continuación, analizaremos estos trabajos.

4.3.1.3.1. Eugenol

Estudios *in vitro* sugirieron que el clavo (*Syzygium aromaticum*) y su principal compuesto bioactivo, el eugenol, podrían mejorar el metabolismo energético y proteico ruminal en rumiantes alimentados con una dieta para ganado lechero, pero no en ganado de engorde (Busquet *et al.* 2005c y 2006; Castillejos *et al.*, 2006). Estell *et al.* (2007) realizaron un ensayo con corderos de engorde de 58 Kg aproximadamente, alimentados con pellets de alfalfa suplementados con eugenol a diferentes dosis. No evaluaron el rendimiento productivo, pero demostraron que el eugenol a las dosis utilizadas no disminuyó la ingesta de los pellets, ni provocó aversión contra el alimento. Por lo tanto, la palatabilidad del alimento no se vio empeorada por la adición de eugenol. Benchaar *et al.* (2012) realizaron un experimento con vacas lecheras alimentadas con una dieta rica en concentrado (65 % concentrado y 35 % forraje) o con una rica en forraje (65 % forraje y 35 % concentrado), suplementadas con eugenol dosis de 840 y 1000 mg/Kg de materia seca. El eugenol no modificó el consumo de alimento, la fermentación ruminal, las poblaciones de microorganismos ruminales, ni la producción o composición de leche en ninguna de las dos dietas. Contrariamente a los resultados prometedores obtenidos *in vitro* por Castillejos *et al.* (2006), la ausencia de cambios debidos al tratamiento indicó que el eugenol a la dosis probada no es recomendable como aditivo zootécnico en vacas alimentados con una dieta para animales lecheros. Yang *et al.* (2010a) realizaron un estudio en terneras de engorde alimentadas con una dieta rica en concentrado. La suplementación de eugenol a diferentes dosis no afectó a la ingestión de materia seca, la degradabilidad de la materia orgánica, y la digestibilidad a lo largo del tracto digestivo. Sin embargo, el flujo del nitrógeno amoniacal hacia el duodeno tendió a aumentar. En el rumen, el eugenol disminuyó la concentración de acetato y tendió a disminuir la proporción entre acetato y propionato, mientras que la concentración de propionato tendió a aumentar, sin variación en la concentración total de AGV. Contrariamente a Castillejos *et al.* (2006), los autores concluyeron que el eugenol afectó positivamente a la utilización del nitrógeno ruminal y al perfil de los AGV ruminales. Sin embargo, no queda claro si el eugenol puede mejorar o no el rendimiento productivo de las terneras de engorde, ya que los autores no lo evaluaron, pero los mismos supusieron que este efecto beneficioso no sería

probablemente suficiente para mejorar el rendimiento productivo de las terneras. Los resultados opuestos entre los experimentos *in vitro* e *in vivo*, y los resultados de los experimentos *in vivo* indican que el eugenol no es recomendable como aditivo zootécnico en animales lecheros, y que probablemente tampoco sea adecuado para el ganado de engorde.

4.3.1.3.2. Cinamaldehído

Varios estudios *in vitro* demostraron que el cinamaldehído, el compuesto bioactivo del aceite de canela (del género *Cinnamomum*), mejoró la fermentación ruminal en vacuno (Busquet *et al.*, 2005a; Busquet *et al.*, 2006). A dosis óptimas (31,2 y 312 mg/L) el cinamaldehído redujo la proporción molar de acetato, y aumentó las de propionato y butirato, sin efecto sobre la producción total de AGV, el metabolismo proteico ruminal, o la degradabilidad del alimento (Busquet *et al.*, 2005a). En ovino, por el contrario, un experimento *in vitro* demostró que el cinamaldehído no tenía efectos positivos sobre la fermentación ruminal (Mateos *et al.*, 2013). A dosis altas (540 mg/L) redujo la producción total de AGV en dos tipos de dieta (15 % paja y 85 % concentrado, y 50 % concentrado y 50 % heno de alfalfa), y a dosis mediana, 180 mg/L, el cinamaldehído aumentó la proporción de acetato en ambas dietas, sin cambios en los AGV totales, y sin tener mayores efectos sobre el nitrógeno amoniacal ruminal. Chaves *et al.* (2008a y 2008b) realizaron dos experimentos *in vivo* en corderos alimentados con una dieta alta en concentrado, suplementados con cinamaldehído (200 mg/Kg de materia seca). Los resultados sobre las fermentaciones ruminales fueron diferentes a los obtenidos *in vitro* (Busquet *et al.*, 2005a; Mateos *et al.*, 2013). El cinamaldehído aumentó la producción total de AGV y redujo el pH ruminal sin modificar las proporciones de cada AGV (Chaves *et al.*, 2008b), sugiriendo un mayor aprovechamiento de los nutrientes. Además, el cinamaldehído disminuyó el glicerol, y aumentó los triglicéridos en sangre, indicando una disminución de la movilización de grasa (Chaves *et al.*, 2008a). Sin embargo, estos efectos positivos sobre el metabolismo energético no fueron suficientes para alterar y mejorar el rendimiento productivo, las características de las canales, y las características organolépticas de la carne. En el intento de optimizar la dosis, Chaves *et al.* (2011) realizaron un tercer experimento en condiciones similares a los precedentes (Chaves *et al.*, 2008a y 2008b) utilizando una dosis baja, intermedia y alta (100, 200 y 400 mg/kg de materia seca) de cinamaldehído para evaluar el consumo, la ganancia de peso, la eficiencia de utilización de los nutrientes, la fermentación ruminal, los metabolitos plasmáticos, y las características de la canal y de la carne en corderos destetados. Entre todos

los parámetros evaluados, sólo la urea plasmática a dosis intermedia, y la intensidad del sabor anómalo del lomo a dosis baja y alta fueron incrementadas por la suplementación de cinamaldehído. Estos resultados llevaron a la conclusión de que el cinamaldehído no es recomendable como aditivo zootécnico para corderos de engorde. Yang *et al.*, (2010b) realizaron un experimento *in vivo* en terneras para observar el efecto del cinamaldehído sobre el consumo, el balance energético, el rendimiento productivo, y la calidad de la canal y de la carne. Si bien el cinamaldehído aumentó la ingestión en las primeras semanas de engorde, no varió el consumo de todo el engorde. Los autores observaron un descenso de los AGNE y un aumento de la urea plasmática, indicando que las terneras suplementadas se encontraban en un estado energético más positivo que los animales control. Sin embargo, el cinamaldehído no influyó sobre el crecimiento, ni sobre la calidad de la canal y de la carne, sugiriendo que el efecto de este aceite esencial no es suficientemente fuerte como para mejorar el rendimiento. En vacas lecheras, Busquet *et al.* (2003) observaron que el cinamaldehído añadido a la dieta (600 mg/Kg de concentrado) disminuyó la ingesta de materia seca, sin modificar la producción, ni la composición de la leche, sugiriendo que este aceite esencial disminuye la palatabilidad y mejora el índice de conversión. Por el contrario, la suplementación de cinamaldehído (1 g/animal/día) no modificó ni la digestibilidad, ni la fermentación ruminal, ni la producción y la composición de leche en vaca lechera (Benchaar *et al.*, 2008b). Vakili *et al.* (2013) realizaron un ensayo con terneros de engorde alimentados con una dieta a base de concentrado (85 %) y forraje (15 %), suplementados con aceite de canela (5 g/animal/día). La canela no alteró el metabolismo proteico ruminal, ni el pH ruminal, ni el rendimiento productivo. Sin embargo, contrariamente a los resultados de Busquet *et al.* (2006) mejoró la proporción acetato:propionato, y aumentó la concentración de propionato y butirato, sin disminuir la producción total de AGV. El perfil hemático relativo al metabolismo energético no presentó cambios debidos a la suplementación del aceite de canela. Tanto el cinamaldehído como el aceite de canela han demostrado tener ciertos efectos benéficos que no siempre se reflejan sobre las producciones y, por lo tanto, es cuestionable su uso como aditivo zootécnico.

4.3.1.3.3. Capsicum

En sistemas de cultivo *in vitro* se observó que el capsicum (extraído de los pimientos del género *Capsicum*) mejoró el perfil ruminal utilizando liquido ruminal y dieta de terneros de engorde (Cardozo *et al.*, 2005). Como consecuencia, Cardozo *et al.* (2006), Fandiño *et al.* (2008) y Rodríguez-Prado *et al.* (2012) evaluaron el efecto del aceite de capsicum *in vivo* sobre

CAPÍTULO 1

terneras de engorde. En ninguno de estos tres experimentos se evaluó el rendimiento productivo, pero a nivel ruminal Cardozo *et al.* (2006) observaron que el capsicum incrementó la degradación de péptidos largos, y aumentó la concentración de péptidos cortos y aminoácidos, sin afectar a la cantidad de nitrógeno amoniacal. Además, el capsicum resultó en un aumento en la ingestión de materia seca (Cardozo *et al.*, 2006; Fandiño *et al.*, 2008; Rodríguez-Prado *et al.*, 2012), y de agua (Cardozo *et al.*, 2006). Rodríguez-Prado *et al.* (2012) encontraron un cambio de comportamiento alimenticio, en el que las terneras disminuyeron la ingesta durante las 2 horas posteriores a la entrega del alimento, pero aumentó el consumo a lo largo del día. Según Fandiño *et al.* (2008), es improbable que este efecto sea debido a una mejora de la palatabilidad del alimento, puesto que el capsicum fue encapsulado en los tres experimentos. El encapsulamiento es necesario para reducir problemas de manipulación del aceite de capsicum (Fandiño *et al.*, 2008), lo que implica cierta disminución del efecto de palatabilidad del mismo, pero no la anulación. En este sentido, Rodríguez-Prado *et al.* (2012) sugirieron que la disminución de la ingestión en las primeras 2 horas posteriores a la entrega del alimento fue causada por el sabor pungente del capsicum, confirmando cierto efecto de palatabilidad del producto encapsulado. Por lo tanto, es probable que el efecto del capsicum sobre la ingestión sea debido en parte a su sabor. Hay evidencia de que la capsaicina (el componente bioactivo del capsicum) aumenta la ingesta de materia seca y de agua en ratas y seres humanos, y estos efectos están probablemente relacionadas también a cambios en el proceso de digestión (Calixto *et al.*, 2000; Zafra *et al.*, 2003). En conclusión, parece ser que el efecto del capsicum sobre el consumo esté asociado tanto a aspectos organolépticos como a procesos de digestión. Independientemente del mecanismo de acción, no se ha realizado todavía un experimento para averiguar si el capsicum mejora los índices productivos en rumiantes. El aumento del consumo inducido por el capsicum podría incrementar el crecimiento de animales de engorde, y podrían disminuir el riesgo de aparición de enfermedades provocadas por inanición (entre otros factores) durante periodos críticos de transición. Por ejemplo, al igual que en terneros de engorde, en cabritos y corderos se busca maximizar la ingesta para obtener el máximo crecimiento en el menor tiempo posible y para evitar problemas de salud durante el destete. Al igual que en vacas lecheras, las cabras y las ovejas reducen fisiológicamente el apetito en el periparto, lo que contribuye a aumentar el riesgo de toxemia de la gestación, por lo que el aumento del consumo de materia seca debería ser positivo.

4.3.1.3.4. Ajo

Uno de los extractos más estudiados en nutrición de rumiantes es el aceite de ajo (*Allium sativum*) y sus compuestos bioactivos. *In vitro* se observaron resultados positivos sobre la fermentación ruminal en diferentes especies (bovino y ovino), dietas y pH, y en un rango de dosis bastante amplio (Busquet *et al.*, 2005b; Cardozo *et al.*, 2005; García-González *et al.*, 2008; Mateos *et al.*, 2013). En terneras de engorde se confirmó el efecto positivo sobre la fermentación ruminal hacia una mejora del metabolismo energético y protéico a una dosis de 80 mg/día (Wanapat *et al.*, 2008). De acuerdo con estos resultados, Zhu *et al.* (2012) observaron que el aceite de ajo aumentó la proteína microbiana en machos cabríos castrados. Por lo contrario, Chaves *et al.* (2008a) no obtuvieron ningún cambio en el metabolismo proteico al suplementar con aceite de ajo corderos destetados. El aceite de ajo no afectó ni a la ingesta ni a la digestibilidad del alimento (Chaves *et al.*, 2008a; Zhu *et al.*, 2012), y no mejoró el rendimiento productivo, ni las características de la canal y de la carne, ni alteró los aspectos organolépticos de la carne en corderos (Chaves *et al.*, 2008a).

Varios estudios se realizaron en vacas y ovejas lecheras para averiguar los efectos de la suplementación de ajo. No está claro el papel del ajo sobre la digestibilidad del alimento y el metabolismo energético de animales lecheros, ya que se observaron resultados inconsistentes. Yang *et al.* (2007) y Klevenhusen *et al.* (2011) encontraron una mejora de la digestibilidad, Anassori *et al.* (2011), por el contrario, observaron una disminución de la digestibilidad, y Van Zijderveld *et al.* (2011) no obtuvieron ninguna variación en la digestibilidad debida a la suplementación de aceite de ajo. En cuanto al metabolismo energético, Klevenhusen *et al.* (2011) notaron una mejora porque observaron una disminución en la pérdida de energía total. Al igual que en el ganado de carne, en el ganado lechero el ajo no varió el consumo del alimento (Busquet *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2007; Anassori *et al.*, 2011; Klevenhusen *et al.*, 2011). Además, el ajo no tuvo efectos consistentes sobre la fermentación ruminal (Yang *et al.*, 2007; Klevenhusen *et al.*, 2011; Anassori *et al.*, 2011), ni sobre los indicadores plasmáticos del metabolismo energético (Hodjatpanah *et al.*, 2010). Desde el punto de vista productivo, el ajo y sus derivados no modificaron la producción de leche ni su composición (Busquet *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2007; Van Zijderveld *et al.*, 2011). Los resultados de los estudios *in vivo* indican que aunque por lo general el ajo tiene efectos positivos sobre el metabolismo proteico y energético de los animales de engorde, no logra mejorar la producción. En ganado lechero el ajo ha dado resultados inconsistentes, demostrando que no es un candidato a aditivo zootécnico.

4.3.1.3.5. Enebro

Si bien un estudio *in vitro* con líquido ruminal de vaca lechera descartaba el aceite de enebro como potencial aditivo, ya que aumentó la deaminación y la concentración ruminal de amoníaco (Chaves *et al.*, 2008c), un estudio *in vivo* en corderos demostró que el aceite de enebro aumentó la ganancia media diaria, sin modificar el consumo de materia seca, la fermentación ruminal, ni las características de la canal, o los aspectos organolépticos de la carne (Chaves *et al.*, 2008a). Como el aceite de enebro disminuyó también el glicerol plasmático, los autores sugirieron que el aceite de enebro redujo la movilización de grasa, indicando una mejora del metabolismo energético. El aceite de enebro ha sido probado también en vacas lecheras, sin ningún resultado positivo sobre la producción de leche y el estado inmunitario (Yang *et al.*, 2007). Estos resultados sugieren que el aceite de enebro podría ser recomendable como aditivo zootécnico en ganado de carne, pero no en ganado de leche.

4.3.1.3.6. Orégano y Carvacol

Estudios *in vitro* demostraron que el aceite de orégano (del género *Origanum*) y el carvacol (su componente bioactivo principal) no tenían efectos positivos destacados sobre la fermentación ruminal (Cardozo *et al.*, 2005; Chaves *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2011). No obstante, se realizaron trabajos *in vivo* en ovejas y corderos que, si bien demostraron que el aceite de orégano y el carvacol aumentaron la producción de AGV totales (Chaves *et al.*, 2008b; Wang *et al.*, 2009a), confirmaron el bajo potencial de estos aceites esenciales sobre el rendimiento productivo de corderos y los aspectos sensoriales de la carne (Bampidis *et al.*, 2005; Chaves *et al.*, 2008b).

4.3.1.3.7. Combinaciones de extractos de plantas

La combinación de aceites esenciales puede dar lugar a efectos aditivos, sinérgicos y antagónicos (Burt, 2004). En un experimento *in vivo*, la suplementación de la combinación de cinamaldehído y eugenol en vacas lecheras, obtuvo resultados prometedores sobre las fermentaciones ruminales, mejorando el metabolismo energético y proteico (Bach *et al.*, 2005). Los aceites esenciales redujeron la concentración de acetato, el nitrógeno amoniacal, y la proporción acetato:propionato, y tendieron a aumentar el nitrógeno de los aminoácidos, el

proionato y el butirato, sin cambios en la concentración total de los AGV. Cardozo *et al.* (2006) probaron esta misma combinación de aceites esenciales en terneras de engorde. No hubo ningún cambio en la concentración de AGV, con la excepción de los ácidos grasos volátiles de cadena ramificada que tendieron a ser inferiores al control. Además, la combinación de cinamaldehído y eugenol tendieron a aumentar los péptidos cortos y el nitrógeno de los aminoácidos. Estos resultados indicaron una mayor eficiencia del metabolismo proteico. Cardozo *et al.* (2006) encontraron también una disminución de la ingestión de materia seca en las terneras suplementadas con una combinación de eugenol y cinamaldehído, debido probablemente a la baja palatabilidad de estos aceites esenciales. A raíz de eso, la combinación de cinamaldehído y el eugenol ha sido empleada conjuntamente al capsicum, que ha demostrado aumentar la ingesta en terneras de engorde (Cardozo *et al.*, 2006; Fandiño *et al.*, 2008; y Rodríguez-Prado *et al.*, 2012). La combinación de estos tres aceites esenciales ha dado resultados interesantes en terneros de engorde, como el aumento de la ganancia media diaria, una fuerte inmunización frente al virus BHV-1 (Compiani *et al.*, 2013), y un rendimiento productivo equiparable a la monensina (Geraci *et al.*, 2012). Por el contrario, en vacas lecheras esta combinación no modificó el consumo, ni la producción y la composición de leche, ni la fermentación ruminal, y a dosis alta (50 mg/día de capsicum más 10 g/día de cinamaldehído y eugenol) redujo la degradabilidad de la fibra (Tager y Krause, 2011). En un ensayo *in vitro* Cardozo *et al.* (2005) observaron que el exyctacto de yuca disminuyó la proporción acetato:propionato y aumentó la concentración de AGV total. Ikuta *et al.* (2008) suplementaron una mezcla de cinamaldehído, eugenol y aceite de yuca a vacas lecheras (50 g de producto comercial/animal/día), y observaron un aumento en la concentración total de AGV y la producción de leche, y una disminución en la ingestión, indicando un mejor aprovechamiento de los nutrientes. La combinación de cinamaldehído, eugenol y capsicum podría ser recomendable como aditivo zootécnico en rumiantes para carne, y la combinación de cinamaldehído, eugenol y aceite de yuca para rumiantes lecheros.

El producto comercial CRINA® RUMINANTS está compuesto por una mezcla de aceites esenciales (timol, eugenol, vanilina, guaiacol y limonene). Un experimento *in vitro* con líquido ruminal de vaca (Castillejos *et al.*, 2005) demostró que CRINA® no modificó la digestibilidad de los nutrientes, pero aumentó la concentración total de AGV tanto en una dieta rica en concentrado, como en una rica en forraje. Newbold *et al.* (2004) encontraron efectos contrarios utilizando la técnica de producción de gas y líquido ruminal de ovejas alimentadas con una dieta de 60 % forraje y 40 % concentrado. CRINA® disminuyó de un 25 % la

deaminación, pero no tuvo efectos sobre la actividad proteolítica y peptidolítica, ni sobre la concentración de nitrógeno amoniacal y AGV, sugiriendo que CRINA® tiene cierto efecto positivo sobre el metabolismo proteico ruminal. En vacas lecheras, CRINA® aumentó el pH ruminal y la cantidad de lactosa de la leche en vacas lecheras, sin cambios en el consumo de alimento, en la digestibilidad de los nutrientes, en los productos finales de la fermentación ruminal, en los recuentos microbianos, en el perfil de los ácidos grasos de la leche, y la producción de leche (Benchaar *et al.*, 2006a y 2007). En otro estudio con vacas en lactación CRINA® aumentó la ingesta de materia seca así como la producción de leche (Kung *et al.*, 2008). Cuando fue administrado a vacas durante el periparto, CRINA® redujo la ingestión de materia seca, aunque mejoró la eficiencia de utilización de alimentos ya que la producción de leche no se vio afectada. CRINA® no modificó el perfil plasmático, ni la cantidad de grasa y la lactosa de la leche, pero redujo el contenido en proteína (Tassoul y Shaver, 2009). En ovejas de alta producción lechera alimentadas con una ración totalmente mezclada a base de ensilado, CRINA® aumentó la producción de leche sin cambios en la ingestión, disminuyó la concentración de nitrógeno amoniacal, y tendió a disminuir la proporción de acetato y a aumentar la de propionato, sugiriendo una mejor eficiencia de utilización de los nutrientes (Giannenas *et al.*, 2011). El suplemento CRINA® fue probado también en terneras de engorde (Meyer *et al.*, 2007) con resultados poco consistentes sobre la fermentación ruminal, la digestibilidad, el rendimiento productivo y las características de la canal. Benchaar *et al.* (2006b) también realizaron un experimento con terneros suplementados con CRINA®, que no afectó a la producción, con la excepción del índice de conversión, que disminuyó con la dosis baja de 2 g/día. Estos resultados sugirieron que el suplemento CRINA® tiene efectos inconsistentes sobre el rendimiento productivo de terneros de engorde, y no están claros sus efectos en el ganado lechero.

4.3.1.3.8. Cosideraciones sobre las dosis

El conjunto de resultados obtenidos tras la utilización de los aceites esenciales en experimentos *in vivo* para rumiantes está caracterizado por la diversidad de efectos y escasa repetibilidad. Esto no es de extrañar, puesto que son muchos los factores que modifican los efectos de los aceites esenciales, tales como el pH ruminal, la dieta, la duración del experimento y la palatabilidad. Uno de los factores que probablemente afecte más a los resultados es la dosis (Tabla 4). Las dosis de los aceites esenciales que se han probado en los experimentos *in vivo* han sido por lo general más bajas comparadas con las dosis utilizadas *in*

vitro. Por ejemplo, Busquet *et al.* (2006) relizaron un ensayo *in vitro* incubando líquido ruminal de vaca lechera para valorar el efecto de diferentes aceites esenciales, entre los cuales el aceite de ajo en una amplio abanico de dosis (0, 3, 30, 300 y 3000 mg/L). La dosis intermedia de 300 mg/L resultó ser la más adecuada, puesto que redujo la proporción molar de acetato y aumentó la de propionato sin modificar la concentración total de AGV. Posteriormente, Yang *et al.* (2007) relizaron un experimento *in vivo* utilizando también vacas lecheras y una dieta semejante a la de Busquet *et al.* (2006). La suplementación de aceite de ajo a una dosis única de 5 g/día por vaca no tuvo ningún efecto sobre los parámetros estudiados. La dosis empleada de 5 g/día/vaca es una dosis alta si se compara con las dosis de aceites esenciales utilizadas en otros ensayos *in vivo*. Sin embargo, si asumimos que una vaca tiene una capacidad ruminal de unos 80 litros, la vaca recibía 62,5mg/L de aceite de ajo, una cantidad bastante inferior a la recomendada por Busquet *et al.* (2006) de 300mg/L. Es normal que en los experimentos *in vivo* se suele elegir una dosis inferior a la recomendada por los ensayos *in vitro*, puesto que es oportuno mantener un margen de cautela para garantizar el bienestar animal, y, además, la posibilidad de probar un abanico amplio de dosis es reducida, debido al limitado número de animales experimentales. Por lo tanto, el empleo de dosis *in vivo* inferiores a las recomendadas *in vitro* puede haber influido negativamente en los resultados hallados *in vivo*. Aun así, se realizaron también algunos estudios *in vivo* empleando dosis altas, y revelaron que los aceites esenciales empeoraron el estado general de los rumiantes. Por ejemplo, Tager y Krause (2011) observaron una reducción de la degradabilidad de la fibra en vacas lecheras cuando se empleó una dosis de 21,5 mg de cinemaldehído y 35 mg de eugenol/L de capacidad ruminal. Estas dosis son muy altas comparadas con las dosis *in vitro* de Busquet *et al.* (2005c) de 2,2 mg/L de líquido ruminal de eugenol y de cinamaldeído. Incluso cuando se emplearon dosis parecidas se observaron efectos diferentes. Por ejemplo, Bach *et al.* (2005) y Tager y Krause (2011) ofrecieron eugenol (0,2 vs 0,24 mg/Kg de peso vivo, respectivamente) y cinamaldeído (0,12 vs 0,15 mg/Kg de peso vivo, respectivamente) a vacas en condiciones experimentales parecidas: Bach *et al.* (2005) encontraron una mejora de las fermentaciones ruminales y de los indicadores del metabolismo energético, mientras que Tager y Krause (2011) no encontraron estas diferencias. El análisis del conjunto de resultados revela que ajustar la dosis de aceites esenciales en experimentos *in vivo* es muy complicado. Por lo tanto, la dosis es un obstáculo importante a la hora de emplear a los aceites esenciales como aditivos zootécnicos.

4.3.1.3.9. Conclusiones sobre los aceites esenciales

Por lo general, hay evidencia de que algunos aceites esenciales tienden a mejorar los índices productivo, sin embargo, los resultados del uso de los aceites esenciales en rumiantes son a menudo inconsistentes y tienen escasa repetibilidad. Existen muchos factores que influyen en la acción que los aceites esenciales ejercen sobre la productividad de los rumiantes. Con la información que tenemos actualmente es cuestionable la recomendación de los aceites esenciales como aditivos zootécnicos, y es necesario ampliar la investigación y controlar aquellos factores que inciden sobre la acción de los mismos. Entre los aceites esenciales destaca positivamente el capsicum por su efecto de aumento del consumo de alimento en el ganado de engorde.

Tabla 4. Efectos de diferentes aceites esenciales sobre la producción.

Autor	Especie	Compuesto	Dosis ²	Efectos ³
Benchaar <i>et al.</i> , 2012	Vaca lechera	EUG	DOSIS BAJA: 840 mg/día; DOSIS ALTA: 1000 mg/día	= IMS, Prod y Comp leche
Chaves <i>et al.</i> , 2008a	Cordero	CIN	200 mg/Kg MS	=IMS, IC, PC; ↑GP
Chaves <i>et al.</i> , 2011	Cordero	CIN	100; 200; 400 mg/kg MS	= PC
Yang <i>et al.</i> , 2010b	Ternero	CIN	0,4; 0,8; 1,6 g/día	= IMS, GP, PC, Dressing %
Busquet <i>et al.</i> , 2003	Vaca lechera	CIN	600 mg/Kg de concentrado	↓IMS; = Prod y Comp leche
Benchaar <i>et al.</i> , 2008b	Vaca lechera	CIN	1 g/día	= IMS, Prod y Comp leche
Chaves <i>et al.</i> , 2008a	Cordero	AJO	200 mg/Kg MS	= IMS, PC, GP
Chaves <i>et al.</i> , 2008a	Cordero	ENE	200 mg/Kg MS	= IMS, IC, PC; ↑GP
Busquet <i>et al.</i> , 2003	Vaca lechera	AJO	600 mg/Kg de concentrado	↓IMS; = Prod y Comp leche
Yang <i>et al.</i> , 2007	Vaca lechera	AJO	5 g/día	=IMS, Prod leche
Yang <i>et al.</i> , 2007	Vaca lechera	ENE	2 g/día	=IMS, Prod leche
Chaves <i>et al.</i> , 2008b	Cordero	CARV	200 mg/Kg MS	= IMS, GP
Compiani <i>et al.</i> , 2013	Ternero	EUG + CIN + CAP	0,8 g/día	↑GP
Geraci <i>et al.</i> , 2012	Ternero	(45 mg/día CIN + 75 mg/día EUG + 16 mg/día CAPS) vs MON		= IMS, Final PV, FRC; ↑GP
Tager y Krause, 2011	Vaca lechera		DOSIS BAJA: 50 mg/día CAP + 0,5 g/día CIN + EUG; DOSIS ALTA: 50 mg/día CAP + 10 g/día CIN + EUG	= IMS, Prod y Comp leche
Ikuta <i>et al.</i> , 2008	Vaca lechera	EUG + CIN + YUCA	50 g/día	↓IMS; ↑Prod leche; = Comp leche
Benchaar <i>et al.</i> , 2006b	Ternero	CRINA®	2; 4 g/día	= IMS, Final PV, GP; Con dosis de 2g/día: ↑IC
Meyer <i>et al.</i> , 2009	Ternero	CRINA®	1 g/día	= IMS, Final PV, GP, IC, PC
Giannenas <i>et al.</i> , 2011	Oveja lechera	CRINA®	50; 100; 150 mg/kg MS de concentrado	= IMS, Comp leche; ↑Prod leche
Benchaar <i>et al.</i> , 2006a	Vaca lechera	CRINA®	2 g/día	= IMS, Prod y Comp leche
Benchaar <i>et al.</i> , 2007	Vaca lechera	CRINA®	750 mg/día	=IMS, Prod leche; ↑Lactosa leche
Tassoul y Shaver, 2009	Vaca lechera	CRINA®	1,2 g/día	↓IMS, Prot Leche; =Prod leche
Kung <i>et al.</i> , 2008	Vaca lechera	CRINA®	1,9 g/día	↑ IMS, Prod leche; = Comp leche

¹ EUG: eugenol; CIN: cinamaldeído; AJO: aceite de ajo; ENE: aceite de enebro; CARV: carvacol; MON: monensina; CAP: capsicum; CAPS: capsaicina; CRINA[®]: combinación de timol, eugenol, vanilina, guaiacol y limonene; YUCA: extracto de yuca;

² MS: materia seca.

³ IMS: ingestión de materia seca; IC: índice de conversión; PC: peso de la canal; GP: ganancia media diaria de peso; Dressing %: rendimiento de la canal; Final PV: peso vivo al final del experimento; Comp leche: composición de la leche; Prod leche: producción de leche; Lactosa leche: concentración de la lactosa en la leche.

4.3.2. Cultivos microbianos

4.3.2.1. Hongos y levaduras

Los aditivos a base de hongos y levadura son cultivos microbianos y han sido muy estudiados en la nutrición de rumiantes, y la mayoría de los trabajos realizados sobre el rendimiento productivo de los rumiantes han sido llevados a cabo con terneros en crecimiento y cebo, o con vacas lecheras (Robinson y Erasmus, 2009). La información sobre los efectos del empleo de hongos y levaduras en el ganado ovino y caprino es mucho más escasa. Entre los aditivos a base de hongos destacan *Aspergillus oryzae*, y entre las levaduras, *Saccharomyces cerevisiae*. A nivel ruminal, su administración provoca un aumento del número de bacterias celulolíticas, así como un incremento de su actividad (Newbold, 1995). Como consecuencia se produce un aumento en la degradación de la fibra y en la producción de AGV, lo cual se traduce en una mejora de la eficiencia de utilización del alimento (Frumholtz *et al.*, 1989; Carro *et al.*, 1992). A nivel productivo, se ha descrito un aumento en la producción de leche, debido probablemente al aumento del consumo en cabras suplementadas con *S. cerevisiae* (Abd El-Ghani, 2004). Por otro lado, otros autores no observaron diferencias en la producción de leche en cabras suplementadas con *S. cerevisiae* (Giger-Reverdin *et al.*, 1996; Hadjipanayiotou *et al.*, 1997; Salama *et al.*, 2002) ni en ovejas lecheras (Hadjipanayiotou *et al.*, 1997).

En lo que se refiere a la producción de carne, en algunos estudios se ha observado que corderos de engorde manifestaron mayores ganancias diarias de peso cuando recibieron cultivos de levaduras (Andrighetto *et al.*, 1993; Haddad y Goussous, 2005), o una reducción del índice de conversión, lo cual indica una mayor eficiencia de utilización del alimento (Garín *et al.*, 2001). Por otro lado, otros autores no encontraron mejoras en la producción de pequeños rumiantes en crecimiento suplementados con levaduras (García *et al.*, 2000; Titi *et al.*, 2008; Mikulec *et al.*, 2010). Existe una elevada variabilidad en las respuestas sobre la producción de pequeños rumiantes suplementados con hongos y levaduras, debido probablemente a diversas causas, como los cultivos utilizados, la dieta, las dosis, y las condiciones experimentales y de manejo. Por este motivo, no está claro su papel en la mejora de la producción.

4.3.2.2. Cultivos de bacterias

Los principales cultivos microbianos para rumiantes a base de bacterias se utilizan para estabilizar o mejorar la funcionalidad ruminal o intestinal en animales jóvenes. Se clasifican en base a su acción sobre la microbiota ruminal: 1) productores de ácido láctico que incluyen especies del género *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus*, y *Enterococcus*; 2) utilizadores de ácido láctico (*Megasphaera* y *Propionibacterium*); 3) otras bacterias (*Prevotella* y *Bacillus*) (Seo *et al.*, 2010). Las bacterias productoras de ácido láctico actúan proporcionando ácido láctico al rumen. De esta forma se estimula su uso por parte de la microbiota, y se favorece el crecimiento de los microorganismos ruminales adaptados a la presencia de ácido láctico. Las bacterias utilizadoras de ácido láctico transforman el lactato en AGV, aumentando así la eficiencia de utilización de nutrientes. En ovejas y vacas algunos autores observaron incrementos en la producción de leche y el contenido en grasa y proteína debido al suplemento de cultivos bacterianos (Kritas *et al.*, 2006; Nocek y Kautz, 2006; Chiquette *et al.*, 2008). Sin embargo, otros autores observaron mejoras estadísticamente no significativas (Oetzel *et al.*, 2007), o no encontraron mejoras en el rendimiento (Raeth-Knight *et al.*, 2007; Weiss *et al.*, 2008). En animales jóvenes las bacterias actúan a nivel intestinal, produciendo compuestos antibacterianos, compitiendo con los patógenos para la colonización de la mucosa o la utilización de los nutrientes, produciendo enzimas y/o estimulando su acción, estimulando la respuesta inmune, y metabolizando o detoxificando nutrientes. Varios estudios observaron que cultivos de bacterias mejoraron la ganancia de peso y la eficiencia de utilización de nutrientes y el estado de salud en corderos, cabritos y terneros (Santillo *et al.*, 2012; Chiofalo *et al.*, 2004; Timmerman *et al.*, 2005). Otros autores observaron mejoras estadísticamente no significativas, sugiriendo que los efectos de los cultivos de bacterias sobre el rendimiento son positivos pero débiles (Birch *et al.*, 1994). Aunque existe una amplia variabilidad de especies bacterianas dentro de los cultivos bacterianos, en su conjunto han demostrado tener efectos beneficiosos sobre los rendimientos de los rumiantes.

4.3.3. Enzimas fibrolíticas

Las enzimas fibrolíticas exógenas actúan degradando la pared celular contenida en la ración, y, como consecuencia, mejoran la digestibilidad de la fibra en todo el tracto digestivo. La mayoría de las enzimas para rumiantes son celulasas y hemicelulasas y xilanasas, y se purifican a partir de hongos y bacterias, como *Trichoderma longibrachiatum* y *Bacillus* spp.,

respectivamente (Pendleton, 2000). Varios estudios han demostrado que la adición de enzimas fibrolíticas exógenas a la dieta de rumiantes aumenta la producción de leche en el ganado vacuno, ovino, y caprino, sin modificar la ingesta de materia seca (Lewis *et al.*, 1999; Rode *et al.*, 1999; Titi y Lubbadah, 2004). Además, se observó la adición de la enzimas fibrolítica a las madres durante la gestación afectó positivamente al peso de las crías al destete en pequeños rumiantes (Titi y Lubbadah, 2004). Flores *et al.* (2008) no observaron diferencias en la producción de leche entre ovejas suplementadas con enzimas fibrolíticas y ovejas control, pero, observaron una mayor eficiencia de utilización de los nutrientes, ya que las ovejas suplementadas redujeron en un 9 % la ingesta de materia seca. Por otro lado, algunos autores no encontraron mejoras en el rendimiento debido a la adición de las enzimas en cabras (González *et al.*, 2008). En terneros en crecimiento varios estudios registraron un aumento de la ganancia de peso debido a la adición de las enzimas (Beauchemin *et al.*, 1995; McAllister *et al.*, 1999), sugiriendo que las enzimas tienen un efecto beneficiosos también en dietas muy energéticas (Beauchemin *et al.*, 1999). Miller *et al.* (2008) observaron que corderos suplementados con enzimas fibrolíticas mostraron un incremento de la digestibilidad de la fibra ácido detergente y del balance protéico, aunque no se registraron mejoras en el rendimiento productivo. Muwalla *et al.* (2007) no encontraron cambios ni en la ingesta ni en la digestibilidad ni en la ganancia de peso de corderos. Existe una gran variabilidad entre las enzimas utilizadas, y su acción depende de numerosos factores, como la temperatura, el pH, el sustrato, e incluso la estación del año, condiciones difíciles de controlar *in vivo*. Aunque se han hecho muchos progresos en el avance de la tecnología de enzimas para rumiantes, se requiere todavía una investigación considerable para reducir la variabilidad de la respuesta.

4.3.4. Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos son productos intermedios de algunos ciclos metabólicos de los animales, y algunos de ellos son también producidos en el rumen durante los procesos de fermentación. En los rumiantes, los carbohidratos de la ración se degradan en el rumen hasta convertirse en piruvato, y éste es utilizado por los microorganismos para producir ácidos grasos volátiles, fundamentalmente acético, propiónico y butírico. Los ácidos málico y fumárico son productos intermediarios de una de las vías metabólicas por las cuales el piruvato se transforma en ácido propiónico (Figura 2). La revisión bibliográfica se enfocará sobre el butirato, ya que realizaron dos experimentos que incluyeron la utilización de butirato en la presente tesis.

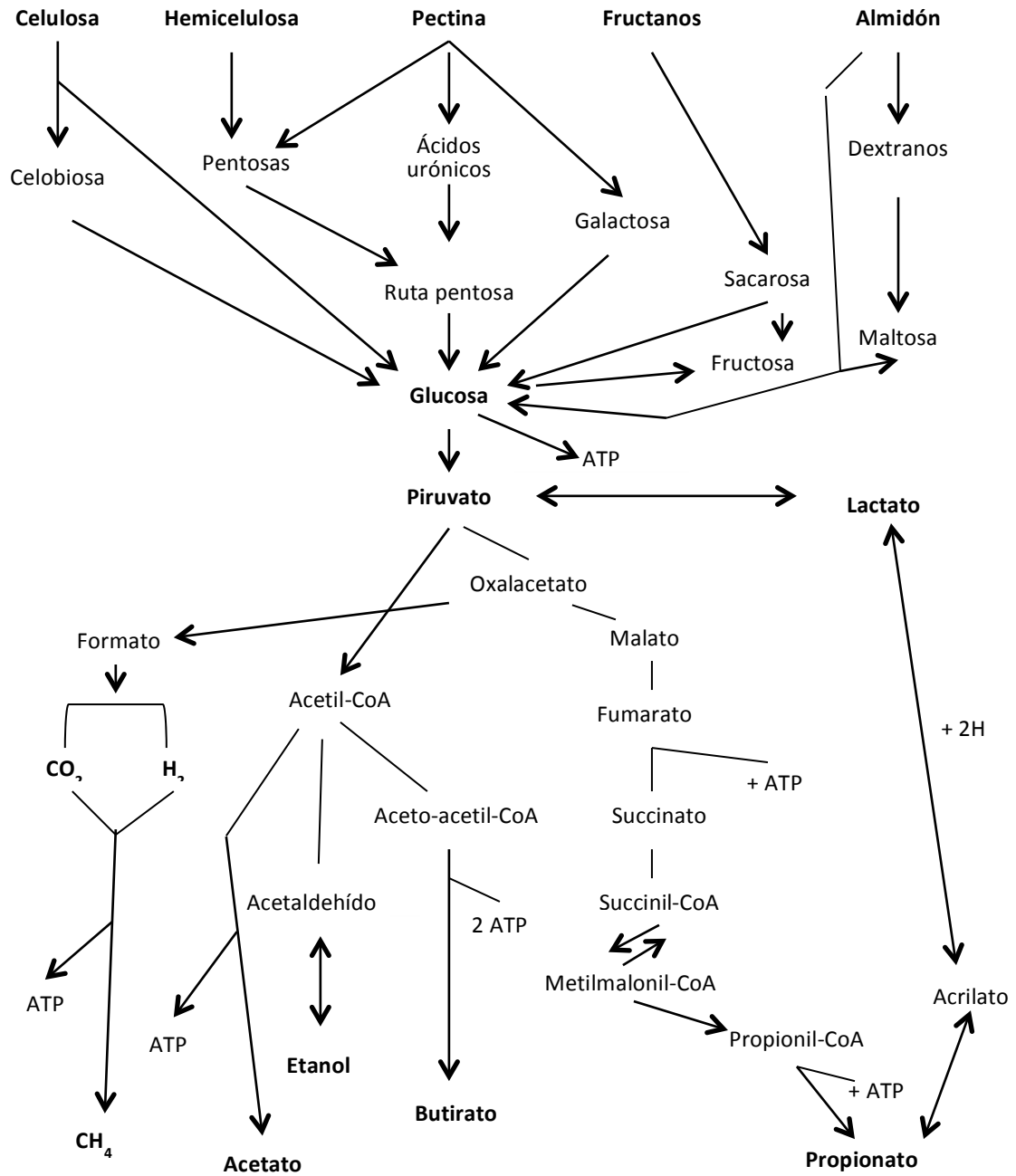


Figura 2. Esquema de la biosíntesis de los principales ácidos grasos volátiles en el rumen a partir de diferentes fuentes de carbohidratos.

4.3.4.1. Malato y fumarato

Entre los ácidos orgánicos, el más estudiado con fines productivos en pequeños rumiantes han sido el malato, y en menor medida el fumarato. A nivel ruminal el malato redujo la paraqueratosis ruminal, aumentó el número de las papilas ruminales funcionales y produjo un aumento de la digestibilidad del pienso en cordero en crecimientos (Flores, 2004). No se observaron efectos positivos de la suplementación con malato sobre la producción y composición de leche ni en cabras ni en vacas (Salama *et al.*, 2002; Foley *et al.*, 2009). En corderos en crecimiento, se observó un aumento en la ganancia de peso y una mejora del índice de conversión cuando se les administró malato (Flores, 2004) o una mezcla de malato y levaduras (Garín *et al.*, 2001). Por el contrario, no observaron efectos positivos sobre el rendimiento productivo debido a la suplementación de malato en corderos y terneros en cebo (Carro *et al.*, 2006; Martin *et al.*, 1999). Flores (2004) concluyó que los efectos del malato varían en función de las características de la dieta, hipótesis avalada por estudios *in vitro* (Tejido *et al.*, 2005). La cantidad moderada de estudios realizados con el malato y la variabilidad de las respuestas a nivel productivo, generan dudas sobre la efectividad de este ácido orgánico como aditivo zootécnico. El fumarato ha sido ampliamente estudiado como estrategia para reducir la formación de metano en el rumen (Iqbal *et al.*, 2008), y en menor medida con fines productivos. La adición de fumarato encapsulado a la dieta de corderos mejoró los índices productivos tales como la ganancia de peso y el índice de conversión (Wallace *et al.*, 2006; Wood *et al.*, 2009). Los resultados sobre la producción son positivos, sin embargo, es oportuno realizar más estudios para poder recomendar el fumarato como aditivo zootécnico.

4.3.4.2. Butirato en rumiantes en crecimiento

Entre los AGV, el butirato ha sido objeto de especial atención por los científicos por sus numerosos efectos beneficiosos en el crecimiento de rumiantes. El butirato es un compuesto natural presente en el rumen, en el intestino, en la leche, así como en el sudor y las heces de la mayoría de los mamíferos (Guilloteau *et al.*, 2010b). En una revisión sobre el butirato, Guilloteau *et al.* (2010b) llegaron a la conclusión que estas moléculas parecen actuar de una manera similar tanto en la forma de ácido como de sal, así pues, parece que sólo el radical ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COO-}$) es relevante. A nivel comercial el butirato está disponible en forma de sal de Na, K, Mg o Ca. El ácido butírico, así como los demás ácidos orgánicos, se pueden

administrar a los animales como tales, pero su manejo es incómodo y peligroso, ya que son sustancias líquidas, corrosivas y desprenden un fuerte olor, por lo que resulta más recomendable el uso de sus sales, principalmente sódica.

Se han realizado numerosos experimentos *in vivo* con terneros, para determinar la eficacia del butirato a dosis bajas (1,4-5,7 g de radical de butirato por animal y día) y sus sales como aditivo zootécnicos en rumiantes. Los principales productos de la fermentación ruminal del concentrado son el propionato y el butirato, que no sólo aportan energía, sino que también estimulan el crecimiento de las papilas ruminales, su densidad y su queratinización (Sander *et al.*, 1959; Rickard y Ternouth, 1965; Lane y Jesse, 1997), contribuyendo a aumentar la superficie de absorción de nutrientes (Sutton *et al.*, 1963). Por este motivo, la suministración de concentrado a los recién nacidos favorece este proceso (Stobo *et al.*, 1966; Rickard y Ternouth, 1965). En un ensayo *in vitro* Baldwin *et al.* (1999) observaron que el butirato mostró aproximadamente el doble de efecto que el propionato en estimular el desarrollo del epitelio ruminal. Cuando el butirato se utilizó como promotor del crecimiento en terneros recién nacidos, los resultados sobre el desarrollo ruminal fueron claros, ya que estimuló el incremento del tamaño de las papilas ruminales (Górka *et al.*, 2009, 2011a y 2011b; Kato *et al.*, 2011).

Se ha demostrado también que el butirato tiene un efecto positivo generalizado sobre el desarrollo del intestino delgado y la función pancreática. El butirato promueve la proliferación, la diferenciación, la maduración y la reducción de la apoptosis de los enterocitos (Mentschel *et al.*, 2001; Guilloteau *et al.*, 2009), e induce la producción de jugo y enzimas pancreáticas (Hill *et al.*, 2007a; Guilloteau *et al.*, 2009 y 2010a). Todo esto influye positivamente sobre la digestibilidad y la utilización de nutrientes (Guilloteau *et al.*, 2004).

El butirato también incide favorablemente en el estado de salud mejorando los indicadores plasmáticos del metabolismo energético como la glucosa (Górka *et al.*, 2011a; Nazari *et al.*, 2012) y la respuesta inmune. Por ejemplo, se observó una menor incidencia de diarreas y una reducida necesidad de recurrir a fluidoterapias con electrolitos en terneros (Hill *et al.*, 2007b; Górka *et al.*, 2009 y 2011a). Además, los terneros suplementados con una mezcla de butirato y otros ácidos grasos manifestaron mayores títulos neutralizantes frente a la parainfluenza y la diarrea vírica bovina (Hill *et al.*, 2011).

El sustrato alimenticio en el que se mezcla el butirato es importante. Górka *et al.* (2011a) administraron el butirato a tres grupos de terneros en el lactoreemplazante (LR), o en la dieta de inicio (DI), o en ambos a la vez (LR-DI). Por lo general, los resultados fueron mejores

con butirato que con el control. Los efectos más pronunciados se observaron en LR-DI, aunque estos efectos no eran aditivos, es decir, no doblaban los efectos de LR o de DI, y la dosis total de butirato era doble en LR-DI con respecto a LR o DI. Los resultados de Górká *et al.* (2011a) sugirieron que la respuesta sobre la ganancia de peso es mejor cuando el butirato se ofrece con el lactoreemplazante, que la ingesta es mayor si el butirato se administra con la dieta de inicio, y que el efecto sobre desarrollo ruminal y el estado de salud es parecido independientemente de la vía de administración del butirato durante el primer mes de vida de terneros. También otros estudios observaron que el butirato favorece la ingestión de concentrado, y que este efecto es mayor cuando el butirato es mezclado con el concentrado que con el lactoreemplazante (Górká *et al.*, 2009; Nazari *et al.*, 2012). El incremento del consumo de concentrado favorece el desarrollo ruminal tanto físico como metabólico (Stobo *et al.*, 1966; Rickard y Ternouth, 1965). Hay evidencias de que el butirato actúa sobre el desarrollo ruminal tanto indirectamente como directamente. En efecto, se demostró que el butirato aumenta el índice mitótico (Sakata y Tamate, 1978; Sakata *et al.*, 1980), la queratinización (Baldwin y Jesse, 1992), y disminuye la apoptosis (Mentschel *et al.*, 2001) de las células epiteliales ruminales y de los enterocitos. Pero se observó *in vitro* que esta acción es indirecta, y se da lugar gracias a la mediación de la insulina (Gálfi y Neogrady, 1989) y de otros factores endocrinos como el IGF-1 y el GLP-1 (Baldwin, 1999; Zitnan *et al.*, 2005; Flaga *et al.*, 2009). Por lo tanto, el butirato actúa sobre el desarrollo ruminal directamente aumentando el consumo de concentrado, e indirectamente activando una respuesta endocrina.

El por qué en algunos experimentos analizados el butirato favorece el consumo de concentrado (Górká *et al.*, 2009 y 2011a; Nazari *et al.*, 2012) no está del todo claro. En la práctica y en los experimentos analizados, los terneros criados artificialmente tienen acceso restringido al lactoreemplazante, y acceso *ad libitum* al concentrado, por lo tanto, sólo se puede registrar las variaciones de consumo de pienso. No es así para la cría de cabritos que normalmente tienen acceso *ad libitum* al lactoreemplazante, y de corderos que, o bien tienen también acceso *ad libitum* al lactoreemplazante, o bien se quedan con las madres. El desarrollo precoz del tracto digestivo y la mejora de la digestibilidad inducidos por el butirato, pueden promover el aumento de la ingesta (Guilloteau *et al.*, 2010b). Además, se ha demostrado en ratas que el butirato aumenta la expresión de genes relacionados con la regulación de la ingesta de alimento (Zhou *et al.*, 2006). Tales hallazgos han conducido a la hipótesis de que el butirato también podría aumentar la ingesta de alimentos como defensa cuando el organismo se encuentra en condiciones patológicas (Guilloteau *et al.*, 2010b). Además, el butirato a dosis moderadas podría incrementar la palatabilidad del alimento. En

efecto, en un experimento con ovejas se observó que aumentó la palatabilidad de heno de trigo cuando se trataba con una solución acuosa de ácido butírico a una dosis de 1,3 a 10 g/kg de heno secado al aire (Gherardi y Black, 1991).

Todos estos efectos positivos sobre el metabolismo repercuten favorablemente sobre los índices productivos. Se observaron mejoras de la tasa de crecimiento, del índice de conversión y del peso de la canal, atribuidas al uso del butirato (Hill *et al.*, 2007b; Górká *et al.*, 2009, 2011a y 2011b; Nazari *et al.*, 2012), incluso cuando los efectos de butirato se compararon con los efectos de antibióticos promotores del crecimiento como la flavomicina (Guilloteau *et al.*, 2004 y 2009). Hay que precisar que los efectos positivos sobre la producción en terneros se observaron cuando el butirato se mezcló con el lactoreemplazante o con el lactoreemplazante y el pienso de inicio. Cuando se mezcló sólo con el pienso, estos efectos fueron leves (Górká *et al.*, 2011a). La explicación puede atribuirse a dos razones. En primer lugar, cuando el butirato alcanza directamente el intestino, evento que ocurre al ingerir el lactoreemplazante que es desviado hacia el abomaso a través de la gotera esofágica, favorece el desarrollo físico y metabólico de la mucosa intestinal (Guilloteau *et al.*, 2009), y, por lo tanto, la absorción intestinal. Además, como ya se ha comentado, el butirato activa una importante acción indirecta endócrina que modula el desarrollo de los epitelios tanto del intestino como del rumen. En segundo lugar, para algunos autores (Guilloteau *et al.*, 2004 y 2010b) es oportuno administrar el butirato inmediatamente después del nacimiento para que actúe durante el primer mes de vida, cuando ocurre el desarrollo físico y metabólico del tracto digestivo (McCarthy y Kesler, 1956; Sutton *et al.*, 1963). Los recién nacidos empiezan a probar el pienso de inicio a partir de los 15 días aproximadamente, por lo tanto, la ingestión del butirato mezclado con el pienso es muy reducida. Se ha observado que aun así, es una dosis suficiente para promover el desarrollo del tracto digestivo (Górká *et al.*, 2011a).

Como se puede ver en los estudios resumidos en la Tabla 5, el butirato ha sido administrado a los terneros antes del destete. Guilloteau *et al.* (2004 y 2009) observaron que cuando el butirato se administra durante el primer mes de vida, los resultados positivos sobre el crecimiento se manifiestan durante los primeros 4 meses de vida, y posteriormente se equiparan a los resultados del grupo control. El efecto del butirato en un rumiante cuando se administra después del destete ha sido estudiado para observar los efectos sobre la función pancreática y la digestibilidad, pero no sobre el rendimiento (Guilloteau *et al.*, 2011a). Estos autores registraron que el butirato aumentó la producción de jugo pancreático y de algunas enzimas, y la digestibilidad, también después del destete. La literatura carece de ensayos que aclaren el efecto del butirato sobre el desarrollo ruminal y la producción cuando éste se

CAPÍTULO 1

suministra después del destete en rumiantes. Pero, al menos, existen este tipo de experimentos realizados en lechones. Manzanilla *et al.*, (2006) observaron que el butirato administrado tras el destete mejoró el índice de conversión y el desarrollo de las vellosidades intestinales, pero no afectó a la ganancia de peso, y redujo la digestibilidad. Si comparamos estos resultados con los de Kotunia *et al.* (2004), que administraron el butirato al tercer día de vida, se puede ver como los lechones que recibieron el butirato antes del destete mostraron un incremento no sólo en el desarrollo de la mucosa intestinal, sino también en la ganancia de peso y del peso al final del experimento. Le Gall *et al.* (2009) compararon los resultados obtenidos administrando el butirato a lechones antes, después, y antes y después del destete, con resultados parecidos a los citados anteriormente. Todos los tratamientos mejoraron la ganancia de peso comparados con el control, pero el resultado fue mayor cuando el butirato se administró antes del destete. Además, los lechones que recibieron el butirato tras el destete redujeron la digestibilidad. Los lechones suplementados con butirato antes y después del destete tuvieron peores resultados sobre la funcionalidad intestinal que los lechones suplementados después del destete. Por lo tanto, de acuerdo con Guilloteau *et al.* (2009 y 2010b), los autores sugirieron que la opción más recomendable para promover el crecimiento es suministrar el butirato antes del destete e inmediatamente después del nacimiento.

En conclusión, el butirato administrado a dosis baja por vía oral a rumiantes inmediatamente después del nacimiento, puede ser utilizado como aditivo zootécnico, puesto que incide favorablemente sobre el desarrollo del tracto digestivo y su funcionalidad, la ingesta de pienso, el estado de salud e inmune, y los índices productivos.

Tabla 5. Resumen de los efectos sobre la producción de la suplementación de SB en la dieta de rumiantes en crecimiento.

Autor y año	Especie y periodo de tratamiento	Dieta ¹	Dosis y administración ²	Efectos ³
Górka <i>et al.</i> , 2011a	Terneros 5-21 días	LR+DI	0,3 % SB (en LR)	↑ GP, GLU, BHBA, PRR, LP; = IDI, AP
Górka <i>et al.</i> , 2011a	Terneros 5-21 días	LR+DI	0,3 % SB (en DI)	= GP, LP, AP; ↑ IDI (días 15-21), GLU, PRR
Górka <i>et al.</i> , 2009	Terneros 5-26 días	LR+DI	0,3 % SB (en LR y DI)	↑ estado salud, GP, IDI (19-26 días), LP, AP
Górka <i>et al.</i> , 2011b	Terneros 5-21 días	LR+DI	0,3 % SB (en LR)	= IDI, días en tratamiento médico tendencia ↑ GP; ↑ PRR, GLU, LP, AP
Kato <i>et al.</i> , 2011	Terneros 3-42 días	LR+DI	3, 5, y 7 g/día desde el día 1 al 3, del día 4 al 7, y desde el día 8 al 42, respectivamente	=PF, GP, IDI, IC, PRR, LP
Nazari <i>et al.</i> , 2012	Terneras 3-48 días	LR+DI	3g de CB/día (en LR)	↑ IDI, GP, PF, GLU; ↓ID
Wilson <i>et al.</i> , 2012	Corderos castrados de 4 meses	Pellets de cebada y alfalfa + ensilado de cebada	1,25 % y 2,5 % SB de MS de la dieta	= IDI; glu (a dosis de 2,5 %)
Guilloteau <i>et al.</i> , 2009	Terneros 13-145 días	LR+Conc	3g/Kg de MS de LR vs flavomicina	↑ PF a 59, 124 y 145 días; ↓IC ↑GP de 13-59 y de 60 a 124 pero no de 125 a 145
Guilloteau <i>et al.</i> , 2004	Terneros 8-145 días	LR+Conc	3g/Kg de MS de LR vs flavomicina	↑ GP (35-145 días), PF, PC; ↓IC
Hill <i>et al.</i> , 2007a	Terneros 15-21 días	LR	3 % de SB de MS en LR	= PF a los 21 días
Hill <i>et al.</i> , 2007b	Terneros 0-42 días	LR+DI	3 % de SB de MS en LR	= IDI; ↑GP; ↓IC

¹ LR: Lactoreemplazante; DI: Dieta de inicio; Conc: Concentrado

¹ SB: Butirato sódico; CB: Butirato cálcico; MS: Materia seca

³ GP: Ganancia de peso; BHBA: β-hidroxibutirato; GLU: glucosa; PRR: Peso reticulo-rumen; IDI: Ingestión dieta de inicio; LP: Largueza papillae; AP: Anchura papillae; PF: Peso final; IC: Índice de conversión; PC: Peso canal.

4.3.4.3. Butirato en rumiantes en lactación

Existen pocos estudios sobre el efecto del butirato en la producción de rumiantes en lactación y se han realizado en vacas lecheras. Pero, antes de analizarlos es oportuno revisar brevemente los mecanismos fisiológicos de la síntesis de la leche. Los ácidos grasos de la grasa de la leche de los rumiantes proceden de dos fuentes, poco más de la mitad absorbidos directamente de circulación sanguínea, y poco menos de la mitad de la síntesis *de novo* dentro de las células epiteliales de la ubre (Neville and Picciano, 1997; Bauman y Davis, 1974). Los ácidos grasos sintetizados *de novo* derivan del acetato y del β -hidroxibutirato absorbidos de la sangre periférica (Grummer, 1991). El acetato proporciona la mayor fuente de carbono para la síntesis de ácidos grasos, mientras que el β -hidroxibutirato proporciona aproximadamente la mitad de los primeros 4 átomos de carbono de los ácidos grasos sintetizados *de novo* (Smith *et al.*, 1974; Palmquist *et al.*, 1969); es decir, el β -hidroxibutirato contribuye a un 15 % aproximadamente del contenido en carbono de los ácidos grasos de la leche (Chilliard *et al.*, 2000; Bauman, 2003). Por lo tanto, la administración de butirato podría aumentar la grasa de la leche. La glucosa es la principal fuente de energía y el principal sustrato para la síntesis de lactosa en la glándula mamaria (Bell y Bauman, 1997). Cuando los precursores de la glucosa escasean, la producción de leche y la concentración de lactosa en la leche disminuyen. Como ya hemos comentado, algunos órganos periféricos son capaces de sustituir la glucosa por el β -hidroxibutirato, como fuente energética (Bell, 1981). Buena parte del butirato absorbido por la pared ruminal es oxidado a β -hidroxibutirato (Ramsey y Davis, 1965). Por lo tanto, la suplementación de butirato y el consecuente aumento de β -hidroxibutirato en la sangre podrían aliviar las necesidades energéticas de glucosa de los órganos periféricos, y habría más cantidad de glucosa disponible para la producción de leche en la glándula mamaria. Huhtanen *et al.* (1993) realizaron un experimento en el que se aplicaban infusiones isoenergéticas de acetato y propionato intraruminales a vacas en lactación. Las infusiones fueron progresivamente sustituidas por butirato hasta una cantidad de 600 g/día. La cantidad de β -hidroxibutirato registrada en plasma aumentaba linealmente a medida que aumentaba la concentración de butirato en la infusión, y la concentración de glucosa disminuyó, como respuesta a la disminución del propionato aportado. La infusión de butirato no tuvo efecto sobre la producción de leche, pero la concentración de grasa y de proteína en la leche aumentó y la de lactosa tendió a disminuir. Miettinen y Huhtanen (1996) realizaron un experimento parecido al precedente, y realizaron infusiones de propionato que remplazaron

progresivamente con butirato hasta una cantidad de 900 g/día. Como consecuencia, la producción y la concentración de lactosa de la leche y la concentración plasmática de glucosa disminuyeron, mientras que la concentración de grasa en la leche y la concentración plasmática de β -hidroxibutirato aumentaron. Huhtanen *et al.* (1998) administraron infusiones intraruminales de butirato (417 g al día) a vacas lactantes, y observaron un incremento plasmático de β -hidroxibutirato, un aumento de la grasa de la leche, y una disminución de la producción de leche, si comparadas con vacas que recibieron infusiones de propionato (500g al día). Estos autores calcularon que un aumento de 10 mmol/mol de butirato ruminal aumentó el contenido en grasa de 1 g/Kg. Los resultados de los estudios sugieren que el empleo del butirato podría ser beneficioso sobre la producción de grasa de rumiantes en lactación.

5. Conclusiones

En esta revisión bibliográfica se ha puesto de manifiesto que el sistema productivo de ovino y caprino en España se está intensificando. La intensificación conlleva una serie de beneficios como el aumento del rendimiento de los pequeños rumiantes y de la rentabilidad, siempre y cuando el manejo de la explotación se realice con rigor. En este sentido, un correcto manejo de la alimentación puede prevenir la aparición de aquellos trastornos metabólicos y productivos propios de los sistemas intensivos como la toxemia de la gestación, y a la vez favorecer que los animales expresen su máximo potencial productivo. Los aditivos zootécnicos representan una estrategia potencial para mejorar la utilización de los nutrientes, la salud animal y, en última instancia, la producción. Dentro de los aditivos zootécnicos los aceites esenciales han demostrado tener cierto potencial, sin embargo, por lo general, es necesario más trabajo científico para estandarizar su uso. Por otro lado, el butirato ha revelado tener potencial como promotor del crecimiento en pre-rumiantes.

6. Referencias bibliográficas

- Abd El-Ghani, A.A., 2004. Influence of diet supplementation with yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on performance of Zaraibi goats. *Small Rumin. Res.* 52, 223–229.
- Abreu, A., Carulla, J.E., Lascano, C.E., Díaz, T.E., Kreuzer, M., Hess, H.D., 2004. Effects of *Sapindus saponaria* fruits on ruminal fermentation and duodenal nitrogen flow of sheep fed a tropical grass diet with and without legume. *J. Anim. Sci.* 82, 1392–1400.
- Acamovic, T., Brooker, J.D., 2005. Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals. *Proc. Nutr. Soc.* 64, 403–412.
- Acero-Camelo, A., Valencia, E., Rodríguez, A., Randel, P.F., 2008. Effects of flushing with two energy levels on goat reproductive performance. *Birth* 1, 1–3.
- Adams, N.R., Sanders, M.R., 1992. Improved feed intake and body weight change in sheep treated with dexamethasone at entry into pens or feedlots. *Austral. Vet. J.* 69, 209–213.
- Aerts, R.J., Barry, T.N., McNabb, W.C., 1999. Polyphenols and agriculture: beneficial effects of proanthocyanidins in forages. *Agric. Ecosyst. Environ.* 75, 1–12.
- Agabriel, J., 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins: besoins des animaux, valeurs des aliments: tables INRA 2007. Editions Quae, pp. 146.
- Al-Dobaib, S.N., 2009. Effect of different levels of quebracho tannin on nitrogen utilization and growth performance of Najdi sheep fed alfalfa (*Medicago sativa*) hay as a sole diet. *Anim. Sci. J.* 80, 532–541.
- Al-Qudah, K.M., 2011. Oxidant and antioxidant profile of hyperketonemic ewes affected by pregnancy toxemia. *Vet. Clin. Pathol.* 40, 60–65.
- Anassori, E., Dalir-Naghadeh, B., Pirmohammadi, R., Taghizadeh, A., Asri-Rezaei, S., Maham, M., Farahmand-Azar, S., Farhoomand, P., 2011. Garlic: A potential alternative for monensin as a rumen modifier. *Livest. Sci.* 142, 276–287.
- Andrews, A., 1997. Pregnancy toxemia in the ewe. *In Pract.* 19, 306–312.

- Andrighetto, I., Bailoni, L., Cozzi, G., Tolosa, H.F., Hartman, B., Hinds, M., Sapienza, D., 1993. Observations on in situ degradation of forage cell components in alfalfa and Italian ryegrass. *J. Dairy Sci.* 76, 2624–2631.
- Animut, G., Goetsch, A.L., Puchala, R., Patra, A.K., Sahlu, T., Varel, V.H., Wells, J., 2008. Methane emission by goats consuming diets with different levels of condensed tannins from lespedeza. *Anim. Feed Sci. Technol.* 144, 212–227.
- Bach, A., Calsamiglia, S., Greathead, H.M.R., Kamel, C., 2005. Effects of a combination of eugenol and cinnamaldehyde on ruminal protein and volatile fatty acids in lactating dairy cows, in: 4 BOKU-Symposium. Tierernährung ohne antibiotische Leistungsförderer, pp. 154–158.
- Baird, D.G., 1982. Primary ketosis in the high-producing dairy cow: clinical and subclinical disorders, treatment, prevention, and outlook. *J. Dairy Sci.* 65, 1–10.
- Baird, G.D., Heitzman, R.J., 1971. Mode of action of a glucocorticoid on bovine intermediary metabolism: Possible role in controlling hepatic ketogenesis. *Bioch. Biophys. Acta.* 252, 184–189.
- Baldwin, R., Jesse, B.W., 1992. Developmental changes in glucose and butyrate metabolism by isolated sheep ruminal cells. *The J. of Nutr.* 122, 1149–1153.
- Baldwin, R.L., 1999. The proliferative actions of insulin, insulin-like growth factor-I, epidermal growth factor, butyrate and propionate on ruminal epithelial cells *in vitro*. *Small Rumin. Res.* 32, 261–268.
- Bampidis, V.A., Christodoulou, V., Florou-Paneri, P., Christaki, E., Spais, A.B., Chatzopoulou, P. S., 2005. Effect of dietary dried oregano leaves supplementation on performance and carcass characteristics of growing lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 121, 285–295.
- Barakat, S.E.M., Al-Bhanasawi, N.M., Elazhari, G.E., Bakhiet, A.O., 2007. Clinical and serobiochemical studies on naturally occurring pregnancy toxemia in Shama goats. *J. Anim. Vet. Adv.* 6, 768–772.
- Barillet, F., 2007. Genetic improvement for dairy production in sheep and goats. *Small Rumin. Res.* 70, 60–75.

CAPÍTULO 1

- Barry, T.N., Manley, T.R., 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 2. Quantitative digestion of carbohydrates and proteins. *Br. J. Nutr.* 51, 493–504.
- Bassett, J.M., 1963. The influence of cortisol on food intake and glucose metabolism in sheep. *J. Endocrin.* 26, 539–553.
- Bates, J., 1997. Epidemiology of vancomycin-resistant enterococci in the community and the relevance of farm animals to human infection. *J. Hosp. Infect.*, 37, 89–101.
- Bauman, D.E., Davis, C.L., 1974. Biosynthesis of milk fat, in: Larson, B.L., Smith, V.R. (Eds.), *Lactation: A comprehensive treatise*, New York Academic, 2, pp. 31–75.
- Bauman, D.E., Currie, B.W., 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.* 63, 1514–1529.
- Bauman, D.E., Griinari, J.M., 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 23, 203–227.
- Bayoumi, Y.H.A., 2005. Metabolic profile test as a diagnostic aid in subclinical pregnancy toxemia in sheep and goats. Thesis Master, Zagazig University, Egypt, p. 6.
- Beauchemin, K.A., Rode, L.M., Sewalt, V.J., 1995. Fibrolytic enzymes increase fiber digestibility and growth rate of steers fed dry forages. *Can. J. Anim. Sci.* 75, 641–644.
- Beauchemin, K.A., Yang, W.Z., Rode, L.M., 1999. Effects of grain source and enzyme additive on site and extent of nutrient digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 378–390.
- Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Martinez, T.F., McAllister, T.A., 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 85, 1990–1996.
- Bell, A.W., 1981. Lipid metabolism in liver and selected tissues and in the whole body of ruminant animals, in: Christie, W.W. (Eds.), *Lipid metabolism in ruminant animals*, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom, pp. 363–410.
- Bell, A.W., 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 73, 2804–2819.

- Bell, A.W., Bauman, D.E., 1997. Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia*. 2, 265–278.
- Benchaar, C., Calsamiglia, S., Chaves, A.V., Fraser, G.R., Colombatto, D., McAllister, T.A., Beauchemin, K.A., 2008a. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 145, 209–228.
- Benchaar, C., Duynisveld, J.L., Charmley, E., 2006b. Effects of monensin and increasing dose levels of a mixture of essential oil compounds on intake, digestion and growth performance of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 86, 91–96.
- Benchaar, C., Lettat, A., Hassanat, F., Yang, W.Z., Forster, R.J., Petit, H.V., Chouinard, P.Y., 2012. Eugenol for dairy cows fed low or high concentrate diets: Effects on digestion, ruminal fermentation characteristics, rumen microbial populations and milk fatty acid profile. *Anim. Feed Sci. Technol.* 178, 139–150.
- Benchaar, C., McAllister, T.A., Chouinard, P.Y., 2008b. Digestion, ruminal fermentation, ciliate protozoal populations, and milk production from dairy cows fed cinnamaldehyde, quebracho condensed tannin, or *Yucca schidigera* saponin extracts. *J. Dairy Sci.* 91, 4765–4777.
- Benchaar, C., Petit, H.V., Berthiaume, R., Ouellet, D.R., Chiquette, J., Chouinard, P.Y., 2007. Effects of essential oils on digestion, ruminal fermentation, rumen microbial populations, milk production, and milk composition in dairy cows fed alfalfa silage or corn silage. *J. Dairy Sci.* 90, 886–897.
- Benchaar, C., Petit, H.V., Berthiaume, R., Whyte, T.D., Chouinard, P.Y., 2006a. Effects of addition of essential oils and monensin premix on digestion, ruminal fermentation, milk production, and milk composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 4352–4364.
- Bergman, E.N., 1968. Glycerol turnover in the nonpregnant and ketotic pregnant sheep. *Am. J. Physiol.* 215, 865–873.
- Bergman, E.N., 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiol. Rev.* 70, 567–90.
- Bhatta, R., Krishnamurthy, U., Mohammed, F., 2000. Effect of feeding tamarind (*Tamarindus indica*) seed husk as a source of tannin on dry matter intake, digestibility of

CAPÍTULO 1

- nutrients and production performance of cross-bred dairy cows in mid lactation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 83, 67–74.
- Birch, K.S., Thomas, J.D., Ross, T.T., 1994. Growth and carcass characteristics of newly received feeder lambs treated with probiotics and vitamin E. *Sheep Goat Res. J.* 10, 201–206.
- Bishonga, C., Robinson, J.J., Mcevoy, T.G., Findlay, P., Aitken, R.P., Robertson, I., 1996. Excess dietary urea intake in ewes and its effect on ovulation rate and embryo development. *Jpn. J. Vet. Res.* 44, 139–151.
- Bodarski, R., Wertelecki, T., Bommer, F., Gosiewski, S., 2005. The changes of metabolic status and lactation performance in dairy cows under feeding TMR with glycerin (glycerol) supplement at periparturient period. *Electron. J. Polish Agric. Univ.* 8, 22–30.
- Brockman, R.P., 1976. Effects of glucagon and insulin on lipolysis and ketogenesis in sheep. *Can. J. Compar. Med.* 40, 166–170.
- Brockman, R.P., 1984. Effect of glycemic changes on lipolysis in sheep *in vivo*. *Metabolism.* 33, 329–331.
- Brockman, R.P., 1985. Role of insulin in regulating hepatic gluconeogenesis in sheep. *Can. J. Physiol. Pharm.* 63, 1460–1464.
- Brockman, R.P., Laarveld, B., 1985. Effects of insulin on net hepatic metabolism of acetate and β -hidroxybutyrate in sheep (*Ovis aries*). *Comp. Biochem. Physiol.* 81, 255–257.
- Brockman, R.P., Laarveld, B., 1986. Hormonal regulation of metabolism in ruminants. A review. *Livest. Prod. Sci.* 14, 313–334.
- Burt, S., 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *Inter. J. Food Microb.* 94, 223–253.
- Busquet, M., Greathead, H., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2003. Efecto del extracto de ajo y el cinemaldehido sobre la producción, composición y residuos en leche en vacas de alta producción, in: Asociación interprofesional para el desarrollo agrario, X jornadas sobre producción animal. 24 (Vol. Extra), 756–758.
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Cardozo, P.W., Kamel, C., 2005a. Effects of cinnamaldehyde and garlic oil on rumen microbial fermentation in a dual flow continuous culture. *J. Dairy Sci.* 88, 2508–2516.

- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Carro, M.D., Kamel, C., 2005b. Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 88, 4393–4404.
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2005c. Screening for effects of plant extracts and active compounds of plants on dairy cattle rumen microbial fermentation in a continuous culture system. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123, 597–613.
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2006. Plant extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 89, 761–771.
- Buswell, I.F., Haddy, I.P., Bywater, R.J., 1986. Treatment of pregnancy toxemia in sheep using a concentrated oral rehydration solution. *Vet. Rec.* 118, 208–209.
- Butaye, P., Devriese, L.A., Haesebrouck, F., 2003. Antimicrobial growth promoters used in animal feed: effects of less well known antibiotics on gram-positive bacteria. *Clin. Microbiol. Rev.* 16, 175–188.
- Butler, W.R., 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim. Repr. Sci.* 60, 449–457.
- Calixto, J.B., Beirith, A., Ferreira, J., Santos, A.R.S., Filho, V.C., Yunes, R.A., 2000. Naturally occurring antinociceptive substances from plants: a review. *Phytother. Res.* 14, 401–418.
- Cal-Pereyra, L., 2007. Inducción experimental de toxemia de la gestación. Aplicación a la explotación ovina en Uruguay. Tesis doctoral, Universidad de León, España.
- Cal-Pereyra, L., Acosta-Dibarrat, J., Benech, A., Da Silva, S., Martín, A., González-Montaña, J.R., 2012. Toxemia de la gestación en ovejas. Revisión. Ewe pregnancy toxemia. Review. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 3, 247–264.
- Cal-Pereyra, L., Borteiro, C., Benech, A., Rodas, E., Abreu, M.N., Cruz, J.C., González-Montaña, R., 2009. Histological changes of the liver and metabolic correlates in ewes with pregnancy toxemia. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 61, 306–312.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P.W., Castillejos, L., Ferret, A., 2007. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 90, 2580–2595.

CAPÍTULO 1

- Canali, G., 2006. Common agricultural policy reform and its effects on sheep and goat market and rare breeds conservation. *Small Rumin. Res.* 62, 207–213.
- Canfield, R.W., Butler, W.R., 1991. Energy balance, first ovulation and the effects of naloxone on LH secretion in early postpartum dairy cows. *J. Anim. Sci.* 69, 740–746.
- Cardozo, P.W., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2005. Screening for the effects of natural plant extracts at different pH on *in vitro* rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 83, 2572–2579.
- Cardozo, P.W., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2006. Effects of alfalfa extract, anise, capsicum and a mixture of cinnamaldehyde and eugenol on ruminal fermentation and protein degradation in beef heifers fed a high concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 84, 2801–2808.
- Carro, M.D., Lebzien, P., Rohr, K., 1992. Effects of yeast culture on rumen fermentation, digestibility and duodenal flow in dairy cows fed a silage based diet. *Livest. Prod. Sci.* 32, 219–229.
- Carro, M.D., Ranilla, M.J., Giráldez, F.J., Mantecón, A.R., 2006. Effects of malate on diet digestibility, microbial protein synthesis, plasma metabolites, and performance of growing lambs fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 84, 405–410.
- Carulla, J.E., Kreuzer, M., Machmuller, A., Hess, H.D., 2005. Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 56, 961–970.
- Castel, J.M., Ruiz, F.A., Mena, Y., Sánchez-Rodríguez, M., 2010. Present situation and future perspectives for goat production systems in Spain. *Small Rumin. Res.* 89, 207–210.
- Castel, J.M., Mena, Y., Ruiz, F.A., Camúñez-Ruiz, J., Sánchez-Rodríguez, M., 2011. Changes occurring in dairy goat production systems in less favoured areas of Spain. *Small Rumin. Res.* 96, 83–92.
- Castillejos, L., Calsamiglia, S., Ferret, A., Losa, R., 2005. Effects of a specific blend of essential oil compounds and the type of diet on rumen microbial fermentation and nutrient flow from a continuous culture system. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 119, 29–41.

- Castillejos, L., Calsamiglia, S., Ferret, A., 2006. Effect of essential oils active compounds on rumen microbial fermentation and nutrient flow in *in vitro* systems. *J. Dairy Sci.* 89, 2649–2658.
- Chandler, K.D., Leury, B.J., Bird, A.R., Bell, A.W., 1985. Effects of udernutrition and exercise during late pregnancy on uterine, fetal and uteroplacental metabolism in the ewe. *Br. J. Nutr.* 53, 625–635.
- Chaves, A.V., Stanford, K., Dugan, M.E.R., Gibson, L.L., McAllister, T.A., Van Herk, F., Benchaar, C., 2008a. Effects of cinnamaldehyde, garlic and juniper berry essential oils on rumen fermentation, blood metabolites, growth performance, and carcass characteristics of growing lambs. *Livest. Sci.* 117, 215–224.
- Chaves, A.V., Stanford, K., Gibson, L.L., McAllister, T.A., Benchaar, C., 2008b. Effects of carvacrol and cinnamaldehyde on intake, rumen fermentation, growth performance, and carcass characteristics of growing lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145, 396–408.
- Chaves, A.V., He, M.L., Yang, W.Z., Hristov, A.N., McAllister, T.A., Benchaar, C., 2008c. Effects of essential oils on proteolytic, deaminative and methanogenic activities of mixed ruminal bacteria. *Can. J. Anim. Sci.* 88, 117–122.
- Chaves, A.V., Schei, I., Wang, Y., McAllister, T.T., Benchaar, C., 2009. Effects of carvacrol and cinnamaldehyde on microbial fermentation when added to a barley-or corn-based diet in a continuous-culture system. *Can. J. Anim. Sci.*, 89, 97–104.
- Chilliard, Y., 1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: a review. *J. Dairy Sci.* 76, 3897–3931.
- Chilliard, Y., Martinet, J., Houdebine, L.M., Head, H.H., 1999. Metabolic adaptations and nutrient partitioning in the lactating animal, in: Martinet, J., Houdebine, L.M., Head, H.H. (Eds.), *Biology of lactation*, Collection mieux comprendre, INRA Editions, Paris, pp. 503–552.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R.M., Doreau, M., 2000. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Ann. Zootech.* 49, 181–205.

CAPÍTULO 1

- Chiquette, J., Allison, M. J., Rasmussen, M.A., 2008. *Prevotella bryantii* 25a used as a probiotic in early-lactation dairy cows: Effect on ruminal fermentation characteristics, milk production, and milk composition. *J. Dairy Sci.* 91, 3536–3543.
- Chiofalo, V., Liotta, L., Chiofalo, B., 2004. Effects of the administration of *Lactobacilli* on body growth and on the metabolic profile in growing Maltese goat kids. *Reprod. Nutr. Dev.* 44, 449–457.
- Chiofalo, V., Todaro, M., Liotta, L., Margiotta, S., Manzo, T., Leto, G., 2005. Effect of propylene glycol on pre- and postpartum performance by dairy ewes. *Small Rumin. Res.* 58, 107–114.
- Chiofalo, V., D'Aquino, S., Tenghi, E.S., Sansarello, L., Piccitto, F., Chiofalo, B., Piccitto, F., Cavallaro, M., Liotta L., 2009. Effect of peripartal propylene glycol supplementation on some biochemical parameters in dairy goats. *Trop. Subtr. Agroecosyst.* 11, 215–217.
- Christensen, J.O., Grummer, R.R., Rasmussen, F.E., Bertics, S.J., 1997. Effect of method of delivery of propylene glycol on plasma metabolites of feed-restricted cattle. *J. Dairy Sci.* 80, 563–568.
- Chung, Y.H., Girard, I.D., Varga, G.A., 2009a. Effects of feeding dry propylene glycol to early postpartum Holstein dairy cows on production and blood parameters. *Animal.* 3, 1368–1377.
- Clapperton, J.L., Czerkawski, J.W., 1972. Metabolism of propane-1: 2-diol infused into the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.* 27, 553–560.
- Compiani, R., Rossi, C.S., Pizzi, A., Dell'Orto, V., 2013. Administration of essential oils cinnamaldehyde, eugenol, and capsicum to beef cattle: effects on health status and growth performance, in: *Trends in Veterinary Sciences*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 177–180.
- Cowan, M.M., 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clin. Microbiol. Rev.* 12, 564–582.
- Czerkawski, J.W., Breckenridge, G., 1973. Dissimilation of 1, 2-propanediol by rumen micro-organisms. *Br. J. Nutr.* 29, 317–330.
- De Rancourt, M., Fois, N., Lavin, M.P., Tchakerian, E., Vallerand, F., 2006. Mediterranean sheep and goats production: An uncertain future. *Small Rumin. Res.* 62, 167–179.

- DeFrain, J.M., Hippen, A.R., Kalscheur, K.F., Jardon, P.W., 2004. Feeding glycerol to transition dairy cows: Effects on blood metabolites and lactation performance. *J. Dairy Sci.* 87, 4195–4206.
- Demeyer, D., Doreau, M., 1999. Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc. Nutr. Soc.* 58, 593–607.
- Diaz, A., Avendan, O.M., Escobar, A., 1993. Evaluation of *Sapindus saponaria* as a defaunating agent and its effects on different ruminal digestion parameters. *Livest. Res. Rural. Develop.* 5, epublication: (Consultado el 25/07/2013) <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd5/2/cefe.htm>.
- Dohoo, I.R., Curtis, R.A., Finley, G.G., 1985. A survey of sheep diseases in Canada. *Can. J. Compar. Med.* 49, 239–247.
- Dorman, H.J.D., Deans, S.G., 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *J. Appl. Microbiol.* 88, 308–316.
- Dubeuf, J.P., Boyazoglu, J., 2009. An international panorama of goat selection and breeds. *Livest. Sci.* 120, 225–231.
- Duehelmeier, R., Fluegge, I., Schwert, B., Parvizi, N., Ganter, N., 2011. Metabolic adaptation to pregnancy and lactation in German Blackheaded Mutton and Finn Sheep ewes with different susceptibilities to pregnancy toxemia. *Small. Rumin. Res.* 96, 178–184.
- Duffield, T.F., 2000. Subclinical ketosis in dairy cows: metabolic diseases of ruminant livestock. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 16, 231–253.
- El Izzi, A., Duval, J., Delaude, C., 1989. Effet d'une serie de saponines extraites de vegetaux de L'Afrique tropicale sur la liberation d'hormone luteinisante par les cellules hypophysaires en culture (Effect of a series of saponin extracts from African plants on the release of luteinizing hormone by hypophysial cells in culture). *Bulletin de la Societe' Royale des Sciences de Liege.* 58, 53–56.
- Emery, R.S., Brown, R.E., Black, A.L., 1967. Metabolism of DL-1, 2-propanediol-2-14C in a lactating cow. *J. Nutr.* 92, 348–356.

CAPÍTULO 1

- Emery, R.S., Burg, N., Brown, L.D., Blank, G.N., 1964. Detection, occurrence, and prophylactic treatment of borderline ketosis with propylene glycol feeding. *J. Dairy Sci.* 47, 1074–1079.
- Enjalbert, F., Nicot, M.C., Bayourthe, C., Moncoulon, R., 2001. Ketone bodies in milk and blood of dairy cows: Relationship between concentrations and utilization for detection of subclinical ketosis. *J. Dairy Sci.* 84, 583–589.
- Estell, R.E., Fredrickson, E.L., Anderson, D.M., Remmenga, M.D., 2007. Effects of eugenol, α -terpineol, terpin-4-ol, and methyl eugenol on consumption of alfalfa pellets by sheep. *Small Rumin. Res.* 73, 272–276.
- Fandiño, I., Calsamiglia, S., Ferret, A., Blanch, M., 2008. Anise and capsicum as alternatives to monensin to modify rumen fermentation in beef heifers fed a high concentrate diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145, 409–417.
- FeNIL, 2012. Federación Nacional de Industrias Lácteas. (Consultado el 2/4/2013). <http://www.fenil.org/Sector/>. %5CDocuments %5CSector %5CProduccion %5CPorProducto %5CLECHE %20Y %20P. %20L %C3 %81CTEOS %202011.pdf
- Ferraro, S.M., Mendoza, G.D., Miranda, L.A., Gutiérrez, C.G., 2009. Kinetics of in vitro ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol, molasses and their drenching effect in blood concentrations of glucose and insulin in ewes, in: *Ruminant physiology: digestion, metabolism and effects of nutrition on reproduction and welfare*. XIth International symposium on ruminant physiology. Wageningen Academic Pub., 176–177.
- Filsell, O.H., Jarrett, I.G., Taylor, P.H., Keech, D.B., 1969. Effects of fasting, diabetes and glucocorticoids on gluconeogenic enzymes in the sheep. *Biochim. Biophys. Acta.* 184, 54–63.
- Finlay, B.J., Esteban, G., Clarke, K.J., Williams, A.G., Embley, T.M., Hirt, R.R., 1994. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. *FEMS Microbiol. Lett.* 117, 157–162.
- Fisher, L.J., Erfle, J.D., Sauer, F.D., 1971. Preliminary evaluation of the addition of glucogenic materials to the rations of lactating cows. *Can. J. Anim. Sci.* 51, 721–727.

- Flachowsky, G., Matthey, M., Ochrimenko, W.I., 1988. Influence of dietary niacin on volatile fatty acids in rumen liquid of sheep and rumen dry matter degradability of untreated and ammonia-treated wheat straw. *Arch. Anim. Nutr.* 38, 99–108.
- Flaga, J., Górka, P., Kowalski, Z.M., Kaczor, U., Grzegorzewska, A., Jaworski, M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Zabielski, R., 2009. Effect of sodium butyrate feed additive in milk replacer and/or starter mixture on mRNA expression of IGF-1, IGF-2 and ghrelin in GIT of neonatal calves, in: *Ruminant physiology: digestion, metabolism and effects of nutrition on reproduction and welfare. XIth International symposium on ruminant physiology.* Wageningen Academic Pub., pp. 178–179.
- Flores, C., 2004. Mejora de la producción de ganado ovino mediante el uso de enzimas fibrolítica. Tesis doctoral. Univesitat Autònoma de Barcelona, España.
- Flores, C., Caja, G., Casals, R., Albanell, E., Such, X., 2008. Performance of dairy ewes fed diets with a fibrolytic enzyme product included in the concentrate during the suckling period. *Animal.* 2, 962–968.
- Foley, P.A., Kenny, D.A., Lovett, D.K., Callan, J.J., Boland, T.M., O'Mara, F.P., 2009. Effect of dimalic acid supplementation on feed intake, methane emissions, and performance of lactating dairy cows at pasture. *J. Dairy Sci.* 92, 3258–3264.
- Fonseca, F.A., Britt, J.H., McDaniel, B.T., Wilk, J.C., Rakes, A.H., 1983. Reproductive traits of Holsteins and Jerseys. Effects of age, milk yield, and clinical abnormalities on involution of cervix and uterus, ovulation, estrous cycles, detection of estrus, conception rate, and days open. *J. Dairy Sci.* 66, 1128–1147.
- Ford, E.J., Evans, J., Robinson, I., 1990. Cortisol in pregnancy toxemia of sheep. *Br. Vet. J.* 146, 539–542.
- Fox, O.H., 1971. Clinical diagnosis and treatment of ketosis. *J. Dairy Sci.* 54, 974–978.
- Freetly, H.C., Ferrell, C.L., 1999. Relationship of portal-drained viscera and liver net flux of glucose, lactate, volatile fatty acids, and nitrogen metabolites to milk production in the ewe. *J. Dairy Sci.* 82, 597–604.
- Frumholtz, P.P., Newbold, C.J., Wallace, R.J., 1989. Influence of *Aspergillus oryzae* fermentation extract on the fermentation of a basal ration in the rumen simulation technique (Rusitec). *The J. Agric. Sci.* 113, 169–172.

CAPÍTULO 1

- Gálfi, P., Neogrády, S., 1989. Epithelial and non-epithelial cell-and tissue culture from the ruminal mucosa. *Asian Austral. J. Anim. Sci.* 2, 143–144.
- García, C.C.G., Mendoza, M.G.D., González, M.S., Cobos, P.M., Ortega, C.M.E., Ramirez, L.R., 2000. Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) and monensin on ruminal fermentation and digestion in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 83, 165–170.
- García-González, R., López, S., Fernández, M., Bodas, R., Gonzalez, J.S., 2008. Screening the activity of plants and spices for decreasing ruminal methane production *in vitro*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147, 36–52.
- Garín, D., Caja, G., Mesia, J., 2001. Effects of the use of Gustor XXI as a substitute of growth promoters in the intensive fattening of lambs. *Cah Options Méditerranéennes.* 54, 181–184.
- Garton, G.A., Lough, A.K., Vioque, E., 1961. Glyceride hydrolysis and glycerol fermentation by sheep rumen contents. *J. Gen. Microbiol.* 25, 215–225.
- Gaspar, P., Escribano, M., Mesías, F.J., Rodríguez de Ledesma, A., Pulido, F., 2008. Sheep farms in the Spanish rangelands (dehesas): typologies according to livestock management and economic indicators. *Small Rumin. Res.* 74, 52–63.
- Geraci, J.I., Garcarena, A.D., Gagliostro, G.A., Beauchemin, K.A., Colombatto, D., 2012. Plant extracts containing cinnamaldehyde, eugenol and capsicum oleoresin added to feedlot cattle diets: Ruminal environment, short term intake pattern and animal performance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 176, 123–130.
- Gherardi, S.G., Black, J.L., 1991. Effect of palatability on voluntary feed intake by sheep. I. Identification of chemicals that alter the palatability of a forage. *Austr. J. Agric. Res.*, 42, 571–584.
- Giannenas, I., Skoufos, J., Giannakopoulos, C., Wiemann, M., Gortzi, O., Lalas, S., Kyriazakis, I., 2011. Effects of essential oils on milk production, milk composition, and rumen microbiota in Chios dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 94, 5569–5577.
- Giger-Reverdin, S., Bezault, N., Sauvant, D., Bertin, G., 1996. Effects of a probiotic yeast in lactating ruminants: interaction with dietary nitrogen level. *Anim. Feed Sci. Technol.* 63, 149–162.

- Goatcher, W.D., Church, D.C., 1970. Taste responses in ruminants. II. Reactions of sheep to acids, quinine, urea and sodium hydroxide. *J. Anim. Sci.* 30, 784–790.
- González, E., Caja, G., Albanell, E., Flores, C., Casals, R., Such, X., 2008. Lactational effects of adding a fibrolytic enzyme complex to the concentrate of lactating dairy goats. *J. Anim. Feed Sci.* 17, 344–351.
- González, F.H., Hernández, F., Madrid, J., Martínez-Subiela, S., Tvarijonaviciute, A., Cerón, J.J., Tecles, F., 2011. Acute phase proteins in experimentally induced pregnancy toxemia in goats. *J. Vet. Diagn. Invest.* 23, 57–62.
- González-Montaña, J.R., Rejas-López, J., 1995. Toxemia de la gestación. *Med. Vet.* 12, 513–522.
- Górka, P., Kowalski, Z.M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Kiljanczyk, R., Flaga, J., Holst, J.J., Guilloteau, P., Zabielski, R., 2009. Effect of sodium butyrate supplementation in milk replacer and starter diet on rumen development in calves. *J. Physiol. Pharmacol.* 60, (Suppl. 3), 47–53.
- Górka, P., Kowalski, Z.M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Holst, J.J., Guilloteau, P., Zabielski, R., 2011a. Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. *J. Dairy Sci.* 94, 5578–5588.
- Górka, P., Kowalski, Z.M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Zabielski, R., 2011b. Is rumen development in newborn calves affected by different liquid feeds and small intestine development? *J. Dairy Sci.* 94, 3002–3013.
- Grainger, C., Clarke, T., Auld, M.J., Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Waghorn, G.C., Eckard, R.J., 2009. Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 89, 241–251.
- Grummer, R.R., 1991. Effect of feed on the composition of milk fat. *J. Dairy Sci.* 74, 3244–3257.
- Grummer, R.R., Winkler, J.C., Bertics, S.J., Studer, V.A., 1994. Effect of propylene glycol dosage during feed restriction on metabolites in blood of prepartum Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 77, 3618–3623.
- Guilloteau, P., Rome, V., Le Normand, L., Savary, G., Zabielski, R., 2004. Is Na-butyrates a growth factor in the preruminant calf? Preliminary results. *J. Anim. Feed Sci.* 13, 393–396.

CAPÍTULO 1

- Guilloteau, P., Zabielski, R., David, J.C., Blum, J.W., Morisset, J.A., Biernat, M., Woliński, J., Laubitz, D., Hamon, Y., 2009. Sodium-butyrate as a growth promoter in milk replacer formula for young calves. *J. Dairy Sci.* 92, 1038–1049.
- Guilloteau, P., Savary, G., Jaguelin-Peyrault, Y., Rome, V., Le Normand, L., Zabielski, R., 2010a. Dietary sodium butyrate supplementation increases digestibility and pancreatic secretion in young milk-fed calves. *J. Dairy Sci.* 93, 5842–5850.
- Guilloteau, P., Martin, L., Eeckhaut, V., Ducatelle, R., Zabielski, R., Van Immerseel, F., 2010b. From the gut to the peripheral tissues: the multiple effects of butyrate. *Nutr. Res. Rev.* 23, 366–384.
- Gupta, V.K., Kumar, A., Vihan, V.S., Sharma, S.D., 2008. Studies on haemogram in sub-clinical ketosis in goats and sheep in organized farming system. *Indian J. Small Rum.* 14, 114–117.
- Haddad, S.G., Goussous, S.N., 2005. Effect of yeast culture supplementation on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awassi lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118, 343–348.
- Hadjipanayiotou, M., Antoniou, I., Photiou, A., 1997. Effects of the inclusion of yeast culture on the performance of dairy ewes and goats and the degradation of feedstuffs. *Livest. Prod. Sci.* 48, 129-134.
- Haenlein, G.F.W., 2004. Goat milk in human nutrition. *Small Rumin. Res.* 51, 155–163.
- Hart, K.J., Yanez-Ruiz, D.R., Duval, S.M., McEwan, N.R., Newbold, C.J., 2008. Plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147, 8–35.
- Hay, W.W., Sparks, J.W.Jr., Gilbert, M., Battaglia, F.C., Meschia, G., 1984. Effect of insulin on glucose uptake by the maternal hindlimb and uterus, and by the fetus in conscious pregnant sheep. *J. Endocrin.* 100, 119–124.
- Hefnawy, A.E., Shousha, S., Youssef, S., 2011a. Hematobiochemical profile of pregnant and experimentally pregnancy toxemic goats. *J. Basic. Appl. Chem.* 1, 65–69.
- Hefnawy, A.E., Shousha, S., Youssef, S., 2011b. Role of insulin and/or fasting in a protocol for inducing pregnancy toxemia in twin-bearing Zaraibi goats. *J. Basic. Appl. Sci. Res.* 1, 2026–2030.

- Heitmann, R.N., Fernández, J.M., 1986. Autoregulation of alimentary and hepatic ketogenesis in sheep. *J. Dairy Sci.* 69, 1270–1281.
- Heitmann, R.N., Dawes, D.J., Sensenig, S.C., 1987. Hepatic ketogenesis and peripheral ketone body utilization in the ruminant. *J. Nutr.* 117, 1174–1180.
- Helander, I.M., Alakomi, H.L., Latva-Kala, K., Mattila-Sandholm, T., Pol, I., Smid, E.J., Gorris L.G.M., Von Wright, A., 1998. Characterization of the action of selected essential oil components on Gram-negative bacteria. *J. Agric. Food Chem.* 46, 3590–3595.
- Henze, P., Bickhardt, K., Fuhrmann, H., Sallmann, H.P., 1998. Spontaneous pregnancy toxemia (ketosis) in sheep and the role of insulin. *J. Vet. Med. Series A.* 45, 255–266.
- Herd, T.H., Emery, R.S., 1992. Therapy of diseases of ruminant intermediary metabolism. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 8, 91–106.
- Hervas, G., Pérez, V., Giraldez, F.J., Mantecon, A.R., Almar, M.M., Frutos, P., 2003. Intoxication of sheep with quebracho tannin extract. *J. Comp. Pathol.* 129, 44–54.
- Hess, H.D., Beuret, R.A., Lotscher, M., Hindrichsen, I.K., Machmüller, A., Carulla, J.E., Lascano, C.E., Kreuzer, M., 2004. Ruminal fermentation, methanogenesis and nitrogen utilization of sheep receiving tropical grass hay – concentrate diets offered with *Sapindus saponaria* fruits and *Cratylia argentea* foliage. *Anim Sci.* 79, 177–189.
- Hill, T.M., Aldrich, J.M., Schlotterbeck, R.L., Bateman, H.G., 2007a. Amino acids, fatty acids, and fat sources for calf milk replacers. *Prof. Anim. Sci.* 23, 401–408.
- Hill, T.M., Aldrich, J.M., Schlotterbeck, R.L., Bateman, H.G., 2007b. Effects of changing the fat and fatty acid composition of milk replacers fed to neonatal calves. *Prof. Anim. Sci.* 23, 135–143.
- Hill, T.M., Bateman II, H.G., Aldrich, J.M., PAS, Schlotterbeck, R.L., 2011. Effect of various fatty acids on dairy calf performance. *Prof. Anim. Sci.* 27, 167–175.
- Hodjatpanah, A.A., Msegaran, M.D., Vakili, A.R., 2010. Effects of diets containing monensin, garlic oil or turmeric powder on ruminal and blood metabolite responses of sheep. *J. Anim. Vet. Adv.* 9, 3104–3108.

CAPÍTULO 1

- Hoedemaker, M., Prange, D., Zerbe, H., Frank, J., Daxenberger, A., Meyer, H.H.D., 2004. Peripartal propylene glycol supplementation and metabolism, animal health, fertility, and production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 2136–2145.
- Holtshausen, L., Chaves, A.V., Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., McAllister, T.A., Odongo, N.E., Cheeke, P.R., Benchaar, C., 2009. Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 2809–2821.
- Hristov, A.N., McAllister, T.A., Van Herk, F.H., Cheng, K.J., Newbold, C.J., Cheeke, P.R., 1999. Effect of *Yucca schidigera* on ruminal fermentation and nutrient digestion in heifers. *J Anim Sci.* 77, 2554–2563.
- Hu, W.L., Liu, J.X., Wu, Y.M., Guo, Y.Q., Ye, J.A., 2006. Effects of tea saponins on *in vitro* ruminal fermentation and growth performance in growing Boer goat. *Arch. Anim. Nutr.* 60, 89–97.
- Huhtanen, P., Miettinen, H., Ylinen, M., 1993. Effect of increasing ruminal butyrate on milk yield and blood constituents in dairy cows fed a grass silage-based diet. *J. Dairy Sci.*, 76, 1114–1124.
- Huhtanen, P.J., Blauwiel, R., Saastamoinen, I., 1998. Effects of intraruminal infusions of propionate and butyrate with two different protein supplements on milk production and blood metabolites in dairy cows receiving grass silage-based diet. *J. Sci. Food Agric.* 77, 213–222.
- Hunt, E.R., 1976. Treatment of pregnancy toxemia in ewes by induction of parturition. *Austral. Vet. J.* 52, 338–339.
- Huyke, M.M., Sahm, F., Gilmore, M.S., 1998. Multiple-drug resistant enterococci: the nature of the problem and an agenda for the future. *Emerg. Infect. Dis.* 4, 239–249.
- Ikuta, K., Yamaguchi, E., Takata, O., Okabe, K., Yamamoto, Y., 2008. Effects of dietary supplementation with eugenol, cinnamaldehyde, and yucca extract complex on the milk production and nutritional status in dairy cows. *Bulletin of the Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries. Animal Husbandry Section.* 44, 16–23.

- Iqbal, M.F., Cheng, Y.F., Zhu, W.Y., Zeshan, B., 2008. Mitigation of ruminant methane production: current strategies, constraints and future options. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 24, 2747–2755.
- Jarrett, I.G., Filsell, O.H., Ballard, F.J., 1974. Metabolic and endocrine interrelationships in normal and diabetic sheep. *Horm. Metab. Res. Suppl.* 4, 111–116.
- Jeffrey, M., Higgins, R.J., 1992. Brain lesions of naturally occurring pregnancy toxæmia of sheep. *Vet. Pathol.* 29, 301–307.
- Jesse, B.W., Emery, R.S., Thomas, J.W., 1986. Control of bovine hepatic fatty acid oxidation. *J. Dairy Sci.* 69, 2290–2297.
- Johns, A.T., 1953. Fermentation of glycerol in the rumen of the sheep. *N.Z. J. Sd. Tech.* 35A, 262.
- Johnson, R.B., 1955. The treatment of ketosis with glycerol and propylene glycol. *Cornell Vet.* 44, 6–21.
- Jones, W.T., Mangan, J.L., 1977. Complexes of the condensed tannins of sainfoin (*Onobrychis viciifolia scop.*) with fraction 1 leaf protein and with submaxillary mucoprotein and their reversal by polyethelene glycol and pH. *J. Sci. Food Agric.* 28, 126–136.
- Juchem, S.O., Santos, F.A.P., Imaizumi, H., Pires, A.V., Barnabe, E.C., 2004. Production and blood parameters of Holstein cows treated prepartum with sodium monensin or propylene glycol. *J. Dairy Sci.* 87, 680–689.
- Kato, S.I., Sato, K., Chida, H., Roh, S.G., Ohwada, S., Sato, S., Guilloteau, P., Katoh, K., 2011. Effects of Na-butyrate supplementation in milk formula on plasma concentrations of GH and insulin, and on rumen papilla development in calves. *J. Endocrin.* 211, 241–248.
- Kimberling, C.V., 1988. Jensen and Swift's diseases of sheep. 3th Eds., Lea & Febiger, Philadelphia, pp. 23–25.
- King, K.R., Gooden, J.M., Annison, E.F., 1985. Acetate metabolism in the mammary gland of the lactating ewe. *Austral. J. Biol. Sci.* 38, 23–32.

CAPÍTULO 1

- Klevenhusen, F., Zeitz, J.O., Duval, S., Kreuzer, M., Soliva, C.R., 2011. Garlic oil and its principal component diallyl disulfide fail to mitigate methane, but improve digestibility in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166, 356–363.
- Kotunia, A., Wolinski, J., Laubitz, D., Jurkowska, M., Rome, V., Guilloteau, P., Zabielski, R., 2004. Effect of sodium butyrate on the small intestine. *J. Physiol. Pharmacol.*, 55 (Suppl. 2), 59–68.
- Krause, M.K., Oetzel, G.R., 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 126, 215–36.
- Krebs, H.A., 1966. Bovine ketosis. *Vet. Rec.* 78, 187–192.
- Krehbiel, C.R., Harmon, D.L., Schnieder, J.E., 1992. Effect of increasing ruminal butyrate on portal and hepatic nutrient flux in steers. *J. Anim. Sci.* 70, 904–914.
- Kristensen, N.B., Danfær, A., Agergaard, N., 1998. Short-chain fatty acids in sheep: Portal appearance rates following high intraruminal loads. *Acta Agric. Scand. Sect.* 48, 165–174.
- Kristensen, N.B., Harmon, D.L., 2004. Splanchnic metabolism of volatile fatty acids absorbed from the washed reticulorumen of steers. *J. Anim. Sci.* 82, 2033–2042.
- Kristensen, N.B., Pierzynowski, S.G., Danfær, A., 2000. Net portal appearance of volatile fatty acids in sheep intraruminally infused with mixtures of acetate, propionate, isobutyrate, butyrate, and valerate. *J. Anim. Sci.* 78, 1372–1379.
- Kritas, S.K., Govaris, A., Christodoulouopoulos, G., Burriel, A.R., 2006. Effect of *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis* supplementation of ewe's feed on sheep milk production and young lamb mortality. *J. Vet. Med. Series A.* 53, 170–173.
- Kronfeld, D.S., 1982. Major metabolic determinants of milk volume, mammary efficiency, and spontaneous ketosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 65, 2204–2212.
- Kronfeld, D.S., Raggi, F., Ramberg, C.F., 1968. Mammary blood flow and ketone body metabolism in normal, fasted, and ketotic cows. *Am. J. Physiol.* 215, 218–227.
- Kulcsár, M., Dankó, G., Delavaud, C., Mircu, C., Nikolic, A.J., Gáspárdy, A., Cernescu, H., Chilliard, Y., Cseh, S., Rudas, P., Huszenicza, G., 2006. Endocrine characteristics of late pregnant hyperketonaemic ewes and their reproductive performance following

- the induction of ovarian cyclicity out of breeding season. *Acta Vet. Hung.* 54, 235–249.
- Kung, L.J., William, P., Schmidt, R.J., Hu, W., 2008. A Blend of essential plant oils used as an additive to alter silage fermentation or used as a feed Additive for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91, 4793–4800.
- Kusina, N.T., Chinuwo, T., Hamudikuwanda, H., Ndlovu, L.R., Muzanenhamo, S., 2001. Effect of different dietary energy level intakes on efficiency of estrus synchronization and fertility in Mashona goat does. *Small Rumin. Res.* 39, 283–288.
- Lane, M.A., Jesse, B.W., 1997. Effect of volatile fatty acid infusion on development of the rumen epithelium in neonatal sheep. *J. Dairy Sci.* 80, 740–746.
- Laporte-Broux, B., Roussel, S., Ponter, A.A., Perault, J., Chavatte-Palmer, P., Duvaux-Ponter, C., 2011. Short-term effects of maternal feed restriction during pregnancy on goat kid morphology, metabolism, and behavior. *J. Anim. Sci.* 89, 2154–2163.
- Le Gall, M., Gallois, M., Sève, B., Louveau, I., Holst, J.J., Oswald, I.P., Lallès, J.P., Guilloteau, P., 2009. Comparative effect of orally administered sodium butyrate before or after weaning on growth and several indices of gastrointestinal biology of piglets. *Br. J. Nutr.* 102, 1285–1296.
- Lean, I.J., Bruss, M.L., Baldwin, R.L., Troutt, H.F., 1992. Bovine ketosis: a review. II. Biochemistry and prevention. *Vet. Bull.* 62, 1–6.
- Limesand, S.W., Rozance, P.J., Smith, D., Hay, W.W., 2007. Increased insulin sensitivity and maintenance of glucose utilization rates in fetal sheep with placental insufficiency and intrauterine growth restriction. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 293, E1716–E1725.
- Lomander, H., Frössling, J., Ingvarsen, K. L., Gustafsson, H., Svensson, C., 2012. Supplemental feeding with glycerol or propylene glycol of dairy cows in early lactation. Effects on metabolic status, body condition, and milk yield. *J. Dairy Sci.* 95, 2397–2408.
- López i Gelats, F., 2010. Are mountains leaving agriculture behind? The complex dynamics of agricultural abandonment in the Pyrenees. Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.

CAPÍTULO 1

- Lovett, D.K., Stack, L., Lovell, S., Callan, J., Flynn, B., Hawkins, M., Mara, F.P.O., 2006. Effect of feeding *Yucca schidigera* extract on performance of lactating dairy cows and ruminal fermentation parameters in steers. *Livest. Sci.* 102, 23–32.
- Lu, C.D., Jorgensen, N.A., 1987. Alfalfa saponins affect site and extent of nutrient digestion in ruminants. *J. Nutr.* 117, 919–927.
- LU, C.D., 2011. Nutritionally related strategies for organic goat production. *Small Rumin. Res.* 98, 73–82.
- Luginbuhl, J.M., Poore, M.H., 1998. Nutrition of Meat goats. (Consultado el 20/10/2013). http://www.cals.ncsu.edu/an_sci/extension/animal/meatgoat/MGNutr.htm.
- Luo, J., Goetsch, A.L., Sahl, T., Nsahlai, I.V., Johnson, Z.B., Moore, J.E., Galyean, M.L., Owens, F.N., Ferrell, C.L., 2004. Prediction of metabolizable energy requirements for maintenance and gain of preweaning, growing, and mature goats. *Small Rumin. Res.* 53, 231–252.
- Lynch, G.P., Jackson, Jr.C., 1983. A method for assessing the nutritional status of gestating ewes. *Can. J. Anim. Sci.* 63, 603–611.
- Madsen, T.G., Nielsen, L., Nielsen, M.O., 2005. Mammary nutrient uptake in response to dietary supplementation of rumen protected lysine and methionine in late and early lactating dairy goats. *Small Rumin. Res.* 56, 151–164.
- MAGRAMA, 2012a. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Caracterización del sector ovino y caprino en España año 2012. (Consultado el 14/02/2013). http://www.magrama.gob.es/app/vocwai/documentos/Adjuntos_AreaPublica/CARACTERIZACION%20DEL%20SECTOR%20OVINO%20Y%20CAPRINO%20EN%20ESPA%202012.pdf.
- MAGRAMA, 2012b. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Evaluación del impacto de políticas activas sectoriales en el sector ovino y caprino de carne (Consultado el 14/02/2013). http://www.magrama.gob.es/app/vocwai/documentos/Adjuntos_AreaPublica/Pol%C3%ADtica%20sectorial%20ovino%20caprino_Evaluacion%20de%20Impacto_TC.pdf.

- MAGRAMA, 2012c. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Caracterización del sector de la producción ecológica española. (Consultado el 15/05/2013). http://www.magrama.gob.es/imagenes/es/Actualizaci%C3%B3n%20Caracterizaci%C3%B3n%20Sector%20P.%20Ecol%C3%B3gica-Sept.2012-informe%20Final%20definitivo%20-Web-.20.11.12_tcm7-232360.pdf.
- MAGRAMA, 2013. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. (Consultado el 2/4/2013). http://www.magrama.gob.es/es/prensa/13.04.03%20%20estrategia%20sector%20ovino_tcm7-270067.pdf.
- Makkar, H.P.S., 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin rich feeds. *Small Rumin. Res.* 49, 241–256.
- Malher, X., Seegers, H., Beaudeau, F., 2001. Culling and mortality in large dairy goat herds managed under intensive conditions in western France. *Livest. Prod. Sci.* 71, 75–86.
- Manual Merck de Veterinaria. 2000. 5ª Eds en español. Océano Grupo Editorial, Barcelona, pp. 836 y 839–840.
- Manzanilla, E.G., Nofrarias, M., Anguita, M., Castillo, M., Perez, J.F., Martin-Orue, S.M., Kamel, C., Gasa, J., 2006. Effects of butyrate, avilamycin, and a plant extract combination on the intestinal equilibrium of early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 84, 2743–2751.
- Marteniuk, J.V., Herdt, T.H., 1988. Pregnancy toxemia and ketosis of ewes and does. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 4, 307–315.
- Martin, S.A., Streeter, M.N., Nisbet, D.J., Hill, G.M., Williams, S.E., 1999. Effects of dl-malate on ruminal metabolism and performance of cattle fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 77, 1008–1015.
- Martínez, G., Abecia, L., Martín-García, A.I., Ramos-Morales, E., Molina-Alcaide, E., Ranilla, M. J., Yáñez-Ruiz, D.R., 2011. Addition of essential oils on the rumen *in vitro* fermentation of diets with different degradability using rumen liquor from goats, in: Asociación interprofesional para el desarrollo agrario, XIV jornadas sobre producción animal, pp. 303–305.
- Mateos, I., Ranilla, M.J., Tejido, M.L., Saro, C., Kamel, C., Carro, M.D., 2013. The influence of diet type (dairy versus intensive fattening) on the effectiveness of garlic oil and

CAPÍTULO 1

cinnamaldehyde to manipulate *in vitro* ruminal fermentation and methane production. *Anim. Prod. Sci.* 53, 299–307.

Mazur, A., Ozgo, M., Rayssiguier, Y., 2009. Altered plasma triglyceride-rich lipoproteins and triglyceride secretion in feed-restricted pregnant ewes. *Vet. Med.* 54, 412–418.

McAllister, T.A., Oosting, S.J., Popp, J.D., Mir, Z., Yanke, L.J., Hristov, A.N., Treacher, R.J., Cheng, K.J., 1999. Effect of exogenous enzyme on digestibility of barley silage and growth performance of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 79, 353–360.

McAllister, T.A., Martinez, T., Bae, H.D., Muir, A.D., Yanke, L.J., Jones, G.A., 2005. Characterization of condensed tannins purified from legume forages: chromophore production, protein precipitation and inhibitory effects on cellulose digestion. *J. Chem. Ecol.* 31, 2049–2068.

McArt, J.A.A., Nydam, D.V., Ospina, P.A., Oetzel, G.R., 2011. A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis. *J. Dairy Sci.* 94, 6011–6020.

McCarthy, R.D., Kesler, E.M., 1956. Relation between age of calf, blood glucose, blood and rumen levels of volatile fatty acids, and *in vitro* cellulose digestion. *J. Dairy Sci.* 39, 1280–1287.

McGarry, J.D., Foster, D.W., 1980. Regulation of hepatic fatty acid oxidation and ketone body production. *Ann. Rev. Biochem.* 49, 395–420.

McSweeney, C.S., Palmer, B., Bunch, R., Krause, D.O., 2001. Effect of tropical forage Callindra on microbial protein synthesis and ecology in the rumen. *J. Appl. Microbiol.* 90, 78–88.

Mentschel, J., Leiser, R., Mülling, C., Pfarrer, C., Claus, R., 2001. Butyric acid stimulates rumen mucosa development in the calf mainly by a reduction of apoptosis. *Arch. Anim. Nutr.* 55, 85–102.

Metz, S.H.M., Van den Bergh, S.G., 1972. Effects of volatile fatty acids, ketone bodies, glucose and insulin on lipolysis in bovine adipose tissue. *FEBS Lett.* 21, 203–206.

- Meyer, N.F., Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., Greenquist, M.A., Willams, P., Losa, R., 2007. Effect of CRINA RUMINANTS AF, a mixture of essential oil compounds, on finishing beef steer performance. *Nebraska Beef Cattle Reports*. 71–80.
- Mikulec, Ž., Mašek, T., Habrun, B., Valpotić, H., 2010. Influence of live yeast cells (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation to the diet of fattening lambs on growth performance and rumen bacterial number. *Veterinarski arhiv*. 80, 695–703.
- Miller, D.R., Elliott, R., Norton, B.W., 2008. Effects of an exogenous enzyme, Roxazyme® G2 Liquid, on digestion and utilisation of barley and sorghum grain-based diets by ewe lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 140, 1 90–109.
- Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T., McNabb, W.C., 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106, 3–19.
- Miettinen, H., Huhtanen, P., 1996. Effects of the ratio of ruminal propionate to butyrate on milk yield and blood metabolites in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 79, 851–861.
- Morales, Z.R., 2003. Patología médica veterinaria: libro de texto para la docencia de la asignatura. Fidalgo Álvarez, L.E., (Eds). Universidad Santiago de Compostela, pp. 285–290 y 333.
- Morand-Fehr, P., Boutonnet, J.P., Devendra, C., Dubeuf, J.P., Haenlein, G.F.W., Holst, P., Mowlem, L., Capote, J., 2004. Strategy for goat farming in the 21st century. *Small Rumin. Res.* 51, 175–183.
- Morand-Fehr, P., 2005. Recent developments in goat nutrition and application: A review. *Small Rumin. Res.* 60, 25–43.
- Müller, F., Huber, K., Pfannkuche, H., Aschenbach, J.R., Breves, G., Gäbel, G., 2002. Transport of ketone bodies and lactate in the sheep ruminal epithelium by monocarboxylate transporter 1. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 283, G1139–G1146.
- Nachtomi, E., Eger, S., Amir, S., Schindler, H., 1986. Postpartum non-esterified fatty acids concentration in blood plasma of dairy cows fed different energy levels. *Nutr. Rep. Int.* 34, 521–527.

CAPÍTULO 1

- Nahed, J., Castel, J.M., Mena, Y., Caravaca, F., 2006. Appraisal of the sustainability of dairy goat systems in Southern Spain according to their degree of intensification. *Livest. Prod. Sci.* 101, 10–23.
- Nasri, Saïda, Salem, H.Ben, Vasta, V., Abidi, S., Makkar, H.P.S., Priolo, A., 2011. Effect of increasing levels of *Quillaja saponaria* on digestion, growth and meat quality of Barbarine lamb. *Anim. Feed Sci. Technol.* 164, 71–78.
- Navas-Camacho, A., Laredo, M.A., Cuesta, A., Anzola, H., León, J.C., 1993. Effect of supplementation with a tree legume forage on rumen function. *Livest. Res. Rural develop.* 5. epublication: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd5/navas.htm>.
- Nazari, M., Karkoodi, K., Alizadeh, A., 2012. Performance and physiological responses of milk-fed calves to coated calcium butyrate supplementation. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 42, 296–303.
- Neville, M.C., Picciano, M.F., 1997. Regulation of milk lipid secretion and composition. *Annu. Rev. Nutr.* 17, 159–184.
- Newbold, C.J., Lassalas, B., Jouany, J.P., 1995. The importance of methanogens associated with ciliate protozoa in ruminal methane production *in vitro*. *Lett. Appl. Microbiol.* 21, 230–234.
- Newbold, C.J., McIntosh, F.M., Williams, P., Losa, R., Wallace, R.J., 2004. Effects of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 114, 105–112.
- Nielsen, N.I., Ingvarsten, K.L., 2004. Propylene glycol for dairy cows. A review of the metabolism of propylene glycol and its effects on physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115, 191–213.
- Noakes, D.E., Parkinson, T.J., England, G.C., 2001. *Arthur's veterinary reproduction and obstetrics*, WB Saunders, pp. 250.
- Nocek, J.E., 1997. Bovine acidosis: implications on laminitis. *J. Dairy Sci.* 80(5), 1005–1028.
- Nocek, J.E., Kautz, W.P., 2006. Direct-fed microbial supplementation on ruminal digestion, health, and performance of pre-and postpartum dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89, 260–266.

- NRC. 1981. National Research Council. Subcommittee on Goat Nutrition. Nutrient requirements of goats: angora, dairy, and meat goats in temperate and tropical countries. National Academies Press. Washington, DC.
- NRC. 1985. National Research Council. Subcommittee on Sheep Nutrition. Nutrient requirements of sheep. 5th Eds. National Academies Press. Washington, DC.
- Nsahlai, I.V., Goetsch, A.L., Luo, J., Johnson, Z.B., Moore, J.E., Sahlu, T., Ferrell, C.L., Galyean, M.L., Owens, F.N., 2004. Energy requirements for lactation of goats. *Small Rumin. Res.* 53, 253–273.
- Oetzel, G.R., 1988. Parturient paresis and hypocalcemia in ruminant livestock. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 4, 351–364.
- Oetzel, G.R., Emery, K.M., Kautz, W.P., Nocek, J.E., 2007. Direct-fed microbial supplementation and health and performance of pre-and postpartum dairy cattle: A field trial. *J. Dairy Sci.* 90, 2058–2068.
- Osman, M.A., Allen, P.S., Mehyar, N.A., Bobe, G., Coetzee, J.F., Koehler, K.J., Beitz, D.C., 2008. Acute metabolic responses of postpartal dairy cows to subcutaneous glucagon injections, oral glycerol or both. *J. Dairy Sci.* 91, 3311–3322.
- Ospina, P.A., Nydam, D.V., Stokol, T., Overton, T.R., 2010. Associations of elevated non-esterified fatty acids and β -hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the Northeastern United States. *J. Dairy Sci.* 93, 1596–1603.
- Quin., S., 1995. Elevages caprins en Poitou-Charentes: évolution des résultats techniques et économiques des élevages. *INRA Prod. Anim.* 10, 317–326.
- Palmquist, D.L., Davis, C.L., Brown, R.E., Sachan, D.S., 1969. Availability and metabolism of various substrates in ruminants. V. Entry rate into the body and incorporation into milk fat of D (-) β -hydroxybutyrate. *J. Dairy Sci.*, 52, 633–638.
- Palmquist, D.L., 1991. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 74, 1354–1360.
- Park, Y.W., Juárez, M., Ramos, M., Haenlein, G.F.W., 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68, 88–113.

CAPÍTULO 1

- Patra, A.K., Saxena, J., 2011. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 91, 24–37.
- Payne, J.M., 1977. *Metabolic disease in farm animals*. Willam Heinemann Medical Books Ltd. London.
- Pollott, G.E., Gootwine, E., 2004. Reproductive performance and milk production of Assaf sheep in an intensive management system. *J. Dairy Sci.* 87, 3690–3703.
- Prieto, F., García, P.P., 1999. Los animales de granja en la investigación biomédica, in: Pérez, C.C., Díez, I., García, P.P. (Eds), *Introducción a la experimentación y protección animal.*, Ponferrada, Universidad de León, pp. 47–64.
- Priolo, A., Waghorn, G.C., Lanza, M., Biondi, L. Pennisi, P., 2000. Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: effects on lamb growth, performance and meat quality. *J Anim. Sci.* 78, 810–816.
- Rode, L. M., Yang W. Z., and K. A Beauchemin. 1999. Fibrolytic enzyme supplements for dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 82, 2121–2126.
- Radostits, O., Blood, D.C., Gay, C.C., 1994. *Veterinary Medicine*. 8th (Eds), Baillière Tindall, pp. 1314–1328 y 1343–1354.
- Raeth-Knight, M.L., Linn, J.G., Jung, H.G., 2007. Effect of direct-fed microbials on performance, diet digestibility, and rumen characteristics of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 1802–1809.
- Ramírez-Restrepo, C.A., Barry, T.N., Pomroy, W.E., López-Villalobos, N., McNabb, W.C., Kemp, P.D., 2005. Use of *Lotus corniculatus* containing condensed tannins to increase summer lamb growth under commercial dryland farming conditions with minimal anthelmintic drench input. *Anim. Feed Sci. Technol.* 122, 197–217.
- Ramsey, H.A., Davis, C.L., 1965. Metabolism of n-butyrate by the adult goat. *J. Dairy Sci.* 48, 381-390.
- Reid, R.L., 1960. Studies on the carbohydrate metabolism of sheep. IX. Metabolic effects of glucose and glycerol in undernourished pregnant ewes and in ewes with pregnancy toxæmia. *Aust. J. Agric. Res.* 11, 42–47.

- Reiersen, D.A., Rust, M.K., Vetter, R.S., 2008. Traps and protein bait to suppress populations of yellowjackets (Hymenoptera: Vespidae), in: Robinson, W.H., Bajomi, D., (Eds.), Proceedings of the sixth international conference on urban pests, 13-16 July 2008, Europa Congress Center, Hungary. OOK-PressKft., Veszprém, Hungary, pp. 267–274.
- Reilly, P.E., Black, A.L., 1973. Early effects of cortisol on glucose and alanine metabolism in adrenalectomized sheep. *Am. J. Physiol.* 225, 689–695.
- Rickard, M.D., Ternouth, J.H., 1965. The effect of the increased dietary volatile fatty acids on the morphological and physiological development of lambs with particular reference to the rumen. *J. Agric. Sci.*, 65, 371–377.
- Ricke, S.C., 2003. The gastrointestinal tract ecology of *Salmonella enteritidis* colonization in molting hens. *Poult. Sci.* 82, 1003–1007.
- Riedel, J.L., 2004. Interacciones entre el ganado y la vegetación en los pastos del Parque de la Sierra y Cañones de Guara. Implicaciones para la gestión de este espacio natural protegido. Tesis de Master. IAMZ-CIHEAM, Zaragoza, España.
- Riedel, J.L., Casasús, I., Bernués, A., 2007. Sheep farming intensification and utilization of natural resources in a Mediterranean pastoral agro-ecosystem. *Livest. Sci.* 111, 153–163.
- Robinson, A.M., Williamson, D.H., 1980. Physiological roles of ketone bodies as substrates and signals in mammalian tissues. *Physiol. Rev.* 60, 143–187.
- Robinson, P.H., Erasmus, L.J., 2009. Effects of analyzable diet components on responses of lactating dairy cows to *Saccharomyces cerevisiae* based yeast products: A systematic review of the literature. *Anim. Feed Sci. Technol.* 149, 185–198.
- Rodríguez Ruiz, L.A., 2013. Análisis de la rentabilidad de las explotaciones de ovino de leche en Castilla y León. Tesis doctoral. Universidad de León, España. pp. 3.
- Rodríguez-Prado, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Zwieter, J., González, L., Bravo, D., Vikari, A., 2008. Effects of cinnamaldehyde-eugenol and capsicum on rumen fermentation and feeding behaviour in beef heifers fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 90, 1879–1884.

CAPÍTULO 1

- Rook, J.S., 2000. Pregnancy toxemia of ewes, does, and beef cows. *Vet. Clin. North. Am. Food Anim. Pract.* 16, 293–317.
- Rossi, R., Örig, S.D., Del Prete, E., Scharrer, E., 2000. Suppression of feed intake after parenteral administration of D- β -Hydroxybutyrate in pygmy goats. *J. Vet. Med. Series A.* 47, 9–16.
- Ruddick, J.A., 1972. Toxicology, metabolism, and biochemistry of 1, 2-propanediol. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 21, 102–111.
- Ruiz, F.A., Mena, Y., Castel, J.M., Guinamard, C., Bossis, N., Caramelle-Holtz, E., Contu, M., Sitzia, M., Fois, N., 2009. Dairy goat grazing systems in Mediterranean regions: a comparative analysis in Spain, France and Italy. *Small Rumin. Res.* 85, 42–49.
- Russel, A., 1985. Nutrition of the pregnant ewe. *In Pract.* 7, 23–28.
- Säemann, M.D., Böhmig, G.A., Österreicher, C.H., Burtscher, H., Parolini, O., Diakos, C., Stöckl J., Hörl, W.H., Zlabinger, G.J., 2000. Anti-inflammatory effects of sodium butyrate on human monocytes: potent inhibition of IL-12 and up-regulation of IL-10 production. *FASEB J.* 14, 2380–2382.
- Sahlu, T., Goetsch, A. L., Luo, J., Nsahlai, I. V., Moore, J. E., Galyean, M. L., Owens, F.N., Ferrell, C.L., Johnson, Z. B., 2004. Nutrient requirements of goats: developed equations, other considerations and future research to improve them. *Small Rumin. Res.* 53, 191–219.
- Sakata, T., Hikosaka, K., Shiomura, Y., Tamate, H., 1980. Stimulatory effect of insulin on ruminal epithelium cell mitosis in adult sheep. *Br. J. Nutr.* 44, 325–331.
- Sakata, T., Tamate, H., 1978. Rumen epithelial cell proliferation accelerated by rapid increase in intraruminal butyrate. *J. Dairy Sci.* 61, 1109–1113.
- Salama, A.A., Caja, G., Garín, D., Albanell, E., Such, X., Casals, R., 2002. Effects of adding a mixture of malate and yeast culture. *Anim. Res.* 51, 295–303.
- Sánchez-Rodríguez, M., 2008a. Las razas caprinas andaluzas de fomento: Malagueña, Murciano-Granadina y Florida, in: *Patrimonio ganadero andaluz (Andalusian heritage livestock)*, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, España, pp. 169–194.

- Sánchez-Rodríguez, M., 2008b. Sistemas productivos en pequeños rumiantes: Experiencia en España en la transición de sistemas extensivos a intensivos. 20–21 Noviembre 2008, XV National conference of veterinary medicine. Pucón, Chile.
- Sander, E.G., Warner, R.G., Harrison, H.N., Loosli, J.K., 1959. The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf. *J. Dairy Sci.* 42, 1600–1605.
- Santillo, A., Annicchiarico, G., Caroprese, M., Marino, R., Sevi, A., Albenzio, M., 2012. Probiotics in milk replacer influence lamb immune function and meat quality. *Animal*. 6, 339–345.
- Santoso, B., Mwenya, B., Sar, C., Takahashi, J., 2006. Ruminal fermentation and nitrogen metabolism in sheep fed a silage-based diet supplemented with *Yucca schidigera* or *Y. schidigera* and nisin. *Anim. Feed Sci. Technol.* 129, 187–195.
- Sargison, N., Scott, P., Penny, C., Pirie, R., Kelly, J., 1994. Plasma enzymes and metabolites as potential rognosis indices of ovine pregnancy toxemia. A preliminary study. *Br. Vet. J.* 150, 271–276.
- Sauer, F.D., Erfle, J.D., Fisher, L.J., 1973. Propylene glycol and glycerol as a feed additive for lactating dairy cows: an evaluation of blood metabolite parameters. *Can. J. Anim. Sci.* 53, 265–271.
- Schlumbohm, C., Harmeyer, J., 2004. Hyperketonemia impairs glucose metabolism in pregnant and nonpregnant ewes. *J. Dairy Sci.* 8, 350–358.
- Schultz, L.H., 1974. Ketosis, in: Larson, B.L., Smith, V.R., Academic Press (Eds.), *Lactation, a comprehensive treatise*, Vol 1, New York, pp. 317–353.
- Scott, P.R., Sargison, N.D., Penny, C.D., Pirie, R.S., Kelly, J.M., 1995. Cerebrospinal fluid and plasma glucose concentrations of ovine pregnancy toxemia cases, inappetant ewes and normal ewes during late gestation. *Br. Vet. J.* 151, 39–44.
- Seo, J.K., Kim, S.W., Kim, M.H., Upadhaya, S.D., Kam, D.K., Ha, J.K., 2010. Direct-fed microbials for ruminant animals. *Asian Austral. J. Anim. Sci.* 12, 1657–1667.
- Sigurdsson, H., 1988. Susceptibility to pregnancy disease in ewes and its relation to gestational diabetes. *Acta Vet. Scand.* 29, 407–414.

CAPÍTULO 1

- Smith, G.H., McCarthy, S., Rook, J.A.F., 1974. Synthesis of milk fat from β -hydroxybutyrate and acetate in lactating goats. *J. Dairy Res.* 41, 175–191.
- Smith, B.P., 2002. Large animal internal medicine. St. Louis, Mosby Elsevier, (3th Eds). 812.
- Sotillo, J., Montes, A., Cerón, J.J., Castellote, B., Luis, J., Bruss, M., 1993. Variation in serum lipids and minerals determined during different productive periods in fasted goats. *Anales de veterinaria de Murcia.* 9, pp. 69–74.
- Staerfl, S.M., Soliva, C.R., Leiber, F., Kreuzer, M., 2011. Fatty acid profile and oxidative stability of the perirenal fat of bulls fattened on grass silage and maize silage supplemented with tannins, garlic, maca and lupines. *Meat Sci.* 89, 98–104.
- Staerfl, S.M., Zeitz, J.O., Kreuzer, M., Soliva, C.R., 2012. Methane conversion rate of bulls fattened on grass or maize silage as compared with the IPCC default values, and the long-term methane mitigation efficiency of adding acacia tannin, garlic, maca and lupine. *Agric. Ecosyst. Environ.* 148, 111–120.
- Steirdaour, W.D., Bauman, D.E., 1988. Propionate metabolism: a new interpretation, in: Dobson, A., Dobson, M.J., (Eds), *Aspects of digestive physiology in ruminants.* Comstock Publ. Assoc., Ithaca, NY, pp. 238–256.
- Stelletta, C., Giancesella, M., Morgante, M., Cannas, A., Pulina, G., 2008. Metabolic and nutritional diseases, in: Cannas, A., Pulina, G. (Eds), *Dairy Goats Feeding and Nutrition.* Cambridge, MA, CAB International, pp. 263–288.
- Stobo, I.J.F., Roy, J.H.B., Gaston, H.J., 1966. Rumen development in the calf. *Br. J. Nutr.* 20, 189–215.
- Studer, V.A., Grummer, R.R., Bertics, S.J., Reynolds, C.K., 1993. Effect of prepartum propylene glycol administration on periparturient fatty liver in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 2931–2939.
- Sauvant, D., Meschy, F., Puillet, L., Schmidely, P., 2012. Actualisation des recommandations alimentaires pour les chèvres laitières. *Prod. Anim.* 25, 259–276.
- Sutton, J.D., McGilliard, A.D., Jacobson, N.L., 1963. Functional development of rumen mucosa. I. Absorptive ability. *J. Dairy Sci.* 46, 426–436.

- Sutton, J.D., 1985. Digestion and absorption of energy substrates in the lactating cow. *J. Dairy Sci.* 68(, 3376–3393.
- Tager, L.R., Krause, K.M., 2011. Effects of essential oils on rumen fermentation, milk production, and feeding behavior in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 2455–2464.
- Tassoul, M.D., Shaver, R.D., 2009. Effect of a mixture of supplemental dietary plant essential oils on performance of periparturient and early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 1734–1740.
- Tejido, M.L., Ranilla, M.J., Garcia-Martinez, R., Carro, M.D., 2005. *In vitro* microbial growth and rumen fermentation of different substrates as affected by the addition of disodium malate. *Animal Science-Glasgow Then Penicuik.* 81, 31–38.
- Thorburn, G.D., Challis, J.R., Currie, W.B., 1977. Control of parturition in domestic animals. *Biol. Repr.* 16, 18–27.
- Tian, X., Zhu, H., Zhu, X., Pan, S., Wu, F., Feng, H., Liu, R., 2010. Measurement and analysis of biochemical blood indexes of female guizhou black goat. *Ecol. Domestic Anim.* 06.
- Timmerman, H.M., Mulder, L., Everts, H., Van Espen, D.C., Van der Wal, E., Klaassen, G., Rouwers S.M.G., Hartemink R., Rombouts F.M., Beynen, A.C., 2005. Health and growth of veal calves fed milk replacers with or without probiotics. *J. Dairy Sci.* 88, 2154–2165.
- Titi, H., Lubbadah, W.F. 2004. Effect of feeding cellulase enzyme on productive responses of pregnant and lactating ewes and goats. *Small Rumin. Res.* 52, 137–143.
- Titi, H.H., Dmour, R.O., Abdullah, A.Y., 2008. Growth performance and carcass characteristics of Awassi lambs and Shami goat kids fed yeast culture in their finishing diet. *Animal Anim. Feed Sci. Technol.* 142, 33–43.
- Toro-Mujica, P., García, A., Gómez-Castro, A., Perea, J., Rodríguez-Estévez, V., Angón, E., Barba, C., 2012. Organic dairy sheep farms in south-central Spain: Typologies according to livestock management and economic variables. *Small Rumin. Res.* 104, 28–36.
- Treacher, R.J., Baird, G.D., Young, J.L., 1976. Anti-ketogenic effect of glucose in the lactating cow deprived of food. *Bioch. J.* 158, 127–134.

CAPÍTULO 1

- Tsiplakou, E., Kotrotsios, V., Hadjigeorgiou, I., Zervas, G., 2010. Differences in sheep and goats milk fatty acid profile between conventional and organic farming systems. *J. Dairy Res.* 77, 343–349.
- Vakili, A.R., Khorrami, B., Mesgaran, M.D., Parand, E., 2013. The effects of thyme and cinnamon essential oils on performance, rumen fermentation and blood metabolites in holstein calves consuming high concentrate diet. *Asian Austral. J. Anim. Sci.* 26, 935–944.
- Van Nevel, C.J., Demeyer, D.I., 1988. Manipulation of rumen fermentation, in: Hobson, P.N. (Eds.), *The rumen microbial ecosystem*, Elsevier Applied Science, New York, NY, pp. 387–443.
- Van Saun, R.J., 2000. Pregnancy toxemia in a flock of sheep. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 217, 1536–1539.
- Van Zijderveld, S.M., Dijkstra, J., Perdok, H.B., Newbold, J.R., Gerrits, W.J.J., 2011. Dietary inclusion of diallyl disulfide, yucca powder, calcium fumarate, an extruded linseed product, or medium-chain fatty acids does not affect methane production in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 3094–3104.
- Vernon, R.G., Finley, E., Taylor, E., Flint, D.J., 1985. Insulin binding and action on bovine adipocytes. *Endocrin.* 116, 1195–1199.
- Waghorn, G.C., Shelton, I.D., 1997. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* on the nutritive value of pasture for sheep. *J. Agric. Sci.* 128:365–372.
- Wallace, R.J., Wood, T.A., Rowe, A., Price, J., Yanez, D.R., Williams, S.P., Newbold, C.J., 2006. Encapsulated fumaric acid as a means of decreasing ruminal methane emissions. In *International Congress Series*. Elsevier. 1293, pp. 148–151.
- Wanapat, M., Khejornsart, P., Pakdee, P., Wanapat, S., 2008. Effect of supplementation of garlic powder on rumen ecology and digestibility of nutrients in ruminants. *J. Sci. Food Agric.* 88, 2231–2237.
- Wang, Y., Douglas, G.B., Waghorn, G.C., Barry, T.N., Foote, A.G., Purchas, R.W., 1996a. Effect of condensed tannins upon the performance of lambs grazing *Lotus corniculatus* and lucern (*Medicago sativa*). *J. Agric. Sci.* 126, 87–98.

- Wang, Y., Douglas, G.B., Waghorn, G.C., Barry, T.N., Foote, A.G., Purchas, R.W., 1996b. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon lactation performance in ewes. *J. Agric. Sci.* 126, 353–362.
- Wang, C.J., Wang, S.P., Zhou, H., 2009a. Influences of flavomycin, ropadiar, and saponin on nutrient digestibility, rumen fermentation, and methane emission from sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 148, 157–166.
- Wang, C., Liu, Q., Yang, W. Z., Huo, W.J., Dong, K.H., Huang, Y.X., Yang, X.M., He, D.C., 2009b. Effects of glycerol on lactation performance, energy balance and metabolites in early lactation Holstein dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 151, 12–20.
- Wastney, M.E., Arcus, A.C., Bickerstaffe, C.R., Wolff, J.E., 1982. Glucose tolerance in ewes and susceptibility to pregnancy toxemia. *Austral. J. Biol. Sci.* 35, 381–392.
- Weigand, E., Young, J.W., McGilliard, A.D., 1972. Extent of butyrate metabolism by bovine ruminoreticulum epithelium and the relationship to absorption rate. *J. Dairy Sci.* 55, 589–597.
- Weiss, W.P., Wyatt, D.J., McKelvey, T.R., 2008. Effect of feeding propionibacteria on milk production by early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91, 646–652.
- West, J.W., Hill, G.M., Utley, P.R., 1993. Peanut skins as a feed ingredient for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 590–599.
- West, H.J., 1996. Maternal undernutrition during late pregnancy in sheep. Its relationship to maternal condition, pregnancy length, hepatic physiology and glucose metabolism. *Br. J. Nutr.* 75, 593–605.
- Whitaker, D.A., Kelly, J.M., Smith, E.J., 1983. Subclinical ketosis and serum beta-hydroxybutyrate levels in dairy cattle. *Br. Vet. J.* 139, 462–463.
- Williams, E.A., Coxhead, J.M., Mathers, J.C., 2003. Anti-cancer effects of butyrate: use of micro-array technology to investigate mechanisms. *Proc. Nutr. Soc.* 62, 107–115.
- Wilson, R.C., Overton, T.R., Clark, J.H., 1998. Effects of *Yucca schidigera* extract and soluble protein on performance of cows and concentrations of urea nitrogen in plasma and milk. *J. Dairy Sci.* 81, 1022–1027.

CAPÍTULO 1

- Wilttrout, D.W., Satter, L.D., 1972. Contribution of propionate to glucose synthesis in the lactating and nonlactating cow. *J. Dairy Sci.* 55, 307–317.
- Wood, T.A., Wallace, R.J., Rowe, A., Price, J., Yáñez-Ruiz, D.R., Murray, P., Newbold, C.J., 2009. Encapsulated fumaric acid as a feed ingredient to decrease ruminal methane emissions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 152, 62–71.
- Woodward, S.L., Auldish, M.J., Laboyrie, P.J., Jansen, E.B.L., 1999. Effect of *Lotus corniculatus* and condensed tannins on milk yield and milk composition of dairy cows. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 59, 152–155.
- Yamaguchi, K., 1988. Triglycerides and apoproteins in toxemia of pregnancy. *Nihon Sanka Fujinka Gakkai zasshi.* 40, 1875–1882.
- Yang, W.Z., Benchaar, C., Ametaj, B.N., Chaves, A.V., He, M.L., McAllister, T.A., 2007. Effects of garlic and juniper berry essential oils on ruminal fermentation and on the site and extent of digestion in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 90, 5671–5681.
- Yang, W.Z., Benchaar, C., Ametaj, B.N., Beauchemin, K.A., 2010a. Dose response to eugenol supplementation in growing beef cattle: Ruminal fermentation and intestinal digestion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 158, 57–64.
- Yang, W.Z., Ametaj, B.N., Benchaar, C., He, M.L., Beauchemin, K.A., 2010b. Cinnamaldehyde in feedlot cattle diets: intake, growth performance, carcass characteristics, and blood metabolites. *J. Anim. Sci.* 88, 1082–1092.
- Yarim, G.F., Ciftci, G., 2009. Serum protein pattern in ewe whit pregnancy toxemia. *Vet. Res. Commun.* 33, 431–438.
- Zafra, M.A., Molina, F., Puerto, A., 2003. Effects of perivagal administration of capsaicin on post-surgical food intake. *Auton. Neurosci.* 107, 37–44.
- Zhang, W.H., Jiang, Y., Zhu, Q.F., Gao, F., Dai, S.F., Chen, J., Zhou, G.H., 2011. Sodium butyrate maintains growth performance by regulating the immune response in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 52, 292–301.
- Zhou, J., Hegsted, M., McCutcheon, K.L., Keenan, M.J., Xi, X., Raggio, A.M., Martin, R.J., 2006. Peptide YY and proglucagon mRNA expression patterns and regulation in the gut. *Obesity.* 14, 683–689.

- Zhu, Z., Mao, S., Zhu, W., 2012. Effects of ruminal infusion of garlic oil on fermentation dynamics, fatty acid profile and abundance of bacteria involved in biohydrogenation in rumen of goats. *Asian Austral. J. Anim. Sci.* 25, 962–970.
- Zinn, R.A., Álvarez, E.G., Montano, M.F., Plascencia, A., Ramirez, J.E., 1998. Influence of tempering on the feeding value of rolled corn in finishing diets for feedlot cattle. *J Anim. Sci.* 76, 2239–2246.
- Zitnan, R., Kuhla, S., Sanftleben, P., Bilska, A., Schneider, F., Zupcanova, M., Voigt, J., 2005. Diet induced ruminal papillae development in neonatal calves not correlating with rumen butyrate. *Vet. Med. Czech.* 50, 472–479.

CAPÍTULO 2

Objetivos

Objetivo general

La presente tesis es el fruto de la recopilación de estudios no vinculados entre ellos, y están presentados en orden cronológico. Por tanto, el objetivo general es genérico: evaluar la potencialidad de diferentes sustancias como aditivos zotécnicos en pequeños rumiantes en condiciones intensivas y de campo.

Objetivos específicos:

Primer trabajo

Evaluar el efecto de una combinación de aceites esenciales (capsicum, eugenol y cinamaldehído), y comparar el potencial gluconeogénicos de suplementos sobre el metabolismo energético y la producción de cabras lecheras durante el periparto.

Segundo trabajo

Evaluar el efecto de la suplementación de butirato sódico a diferentes dosis sobre el contenido de grasa en la leche de cabras lecheras a media lactación.

Tercer trabajo

Determinar los efectos del butirato sódico administrado con el concentrado sobre el desarrollo ruminal y el rendimiento de corderos al destete y al final del engorde.

CAPÍTULO 3

The effect of essential oils and gluconeogenic supplements

on energy metabolism and performance

of dairy goat around kidding

The effect of essential oils and gluconeogenic supplements on energy metabolism and performance of dairy goat around kidding

Abstract

Dairy goats are susceptible to pregnancy toxemia. An increase of DMI and an improvement of energy metabolism are desirable during prepartum period to reduce the risk of pregnancy toxemia, and to improve performance during lactation. Two experiments (EXP1 and EXP2) were carried out to evaluate the effect of essential oils and gluconeogenic supplements on energy metabolism and performance of goat around kidding in field condition in intensive system. In EXP 1, twenty-four pregnant Murciano-Granadina goats were assigned to treatments: control (CTR; no additive) and essential oil supplementation (EOT; 10.8 mg of CAP, 13.4 mg of EUG and 8.1 mg of CIN/Kg of DM of total mixed ration). In EXP 2, twenty-eight pregnant Murciano-Granadina goats were supplied with commercial gluconeogenic supplements: 1) MG, 36.9 g/goat/day, containing monopropylene glycol; 2) GLY, 60 g/goat/day, containing glycerol; 3) MG-B, 44.32 g/goat/day, including monopropylene glycol and vitamins B; 4) GLY-MG-B, 56.47 g/goat/day, including glycerol, monopropylene glycol, calcium propionate, niacin and cobalt. Goats were controlled from 15 days prior to 30 days after kidding. In EXP 1, goats were a fed total mixed ration, and in EXP 2, forage and concentrate were fed separately. In EXP 1 DMI was recorded per group. In both experiments, body weight, body condition score (BCS), glucose, β -hydroxybutyrate, non-esterified fatty acids, triglycerides, insulin, milk production and composition were measured individually. Goats were healthy during the experiments. In EXP 1, no differences were found on measurements between treatments, except for milk fat concentration that tended to be higher for EOT compared with CRT ($P = 0.098$), but milk fat yield was similar between treatments. In EXP 2, BCS at day 15 post-kidding was higher for MG compared with other treatments, and lower for MG-B compared with GLY-MG-B. Milk fat concentration was higher for GLY and GLY-MG-B compared with MG and MG-B, and milk fat yield was higher for GLY compared with MG and MG-B, and lower for MG-B compared with GLY-MG-B. Milk protein concentration and yield were higher for GLY compared with other treatments. The remaining measurements were similar among treatments. Results indicated that capsicum and eugenol plus cinnamaldehyde had no effect on energy metabolism and performance of goats during prepartum and early-lactation, and that GLY improved milk composition without a change in the metabolic status compared with the other gluconeogenic supplementations. However,

CAPÍTULO 3

more research is required to elucidate how GLY improved milk fat and protein, and, in general, the mechanism of action of these gluconeogenic suppletions in goats around kidding.

Keywords: Dairy goats; energy metabolism; essential oils; gluconeogenic, performance.

Introduction

High production dairy goats cope with negative energy balance around kidding, because the energy requirements of the growing fetus and lactation are higher than the energy provided by the ingested diet. When goats are no longer able to hold up the negative energy balance, pregnancy toxemia appears, leading to economic losses that could be huge (Rook, 2000). This energy metabolism disorder is caused by multiple factors, which make hard to control it, and the best method to avoid its upset is a prevention program based on a rigorous and adequate nutritional management. Diet should be rich in highly fermentable concentrate and high quality forage, and goat consumption should be maximized around kidding. Such nutritional pattern should persist during early-lactation period to guarantee the total productive potential expression of the animal.

Essential oils (EO) have been studied in ruminant production because of its antimicrobial effects, and because they are considered safe for animal and human health (Calsamiglia *et al.*, 2007). In an *in vitro* experiment using rumen fluid of cow, clove bud, its active compound eugenol (EUG), and cinnamaldehyde (CIN) decreased acetate proportion and increased propionate and butyrate proportion (Busquet *at al.*, 2005; Busquet *et al.*, 2006). Capsicum oil (CAP) had negligible effects on rumen fermentation in *in vitro* culture of rumen fluid from dairy cattle fed a 60 % alfalfa hay and 40 % concentrate diet (Busquet *et al.*, 2005). However, the supplementation of CAP increased DMI in heifers (Cardozo *et al.*, 2006; Fandiño *et al.*, 2008; Rodríguez-Prado *et al.*, 2012). Therefore, the combination of CAP, EUG and CIN could be beneficial on energy metabolism of dairy goats during prepartum and production in early lactation.

Propylene glycol and glycerol have long been used as treatment or prevention of pregnancy toxemia in small ruminant (Rook, 2000). Such colorless and odorless raw materials are directly absorbed through the rumen wall, or transformed into propionate, allowing to enter into the gluconeogenic pathways (Clapperton and Czerkawski, 1972; Czerkawski and Breckenridge, 1973; Ferraro *et al.*, 2009). Goats supplied with propylene glycol reduced β -

hydroxybutyrate during prepartum, non-esterified fatty acids during postpartum, increased milk production and reduced hepatic functionality indicators (Chiofalo *et al.*, 2009). Also glycerol has been shown to reduce ketone bodies in toxemic ewes (Reid, 1960), and to increase DMI (Fisher *et al.*, 1971), and glucose in cow (DeFrain *et al.*, 2004; Osman *et al.*, 2008). Bodarski *et al.* (2005) reported that cows supplemented with GLY had a higher milk yield compared with controls. When administrated orally, vitamin B had been shown to be an important growth factor for some ruminal microorganisms (Tanner and Wolfe, 1988; Strobel, 1992) in pathways that produce propionate (Chen and Wolin, 1981), and to improve lactational performance in cow (Graulet *et al.*, 2007). Also the addition of trace elements in the feed could have beneficial effects on production of ruminant. In a meta-analysis, Rabiee *et al.* (2010) concluded that blends of zinc, copper, manganese and cobalt supplied to cow improved milk production, milk fat and protein yield and reproduction. The hypothesis was that by supplying goats with gluconeogenic compounds around kidding, the metabolic profile and the performance would be similar or increased compared with propylene glycol based supplementation.

The objective of these studies was to evaluate in intensive field condition the effect of essential oils and to compare the potential of gluconeogenic supplementations on energy metabolism around kidding and performance during early-lactation of dairy goat.

Material and methods

The experiments were carried out in the facilities of the Servei de Granges i Camps Experimentals of the Universitat Autònoma de Barcelona, Spain. The research protocol was approved by the Campus Laboratory Animal Care Committee of the Universitat Autònoma de Barcelona (Spain).

Experiment 1

Twenty-four pregnant Murciano-Granadina goats (milk purpose) were used. The experiment was divided in two periods, October-November 2007 (period 1) and December-January 2008 (period 2), according to the estimated dates of parturitions. Treatments were: Control treatment (CRT), diet with no additive, and essential oils (EOT), where the diet was supplemented with 13.4 mg of eugenol and 8.1 mg of cinnamaldehyde (XTract 6965,

CAPÍTULO 3

PANCOSMA, Switzerland) and 10.8 mg of capsicum (XTract 6933, PANCOSMA, Switzerland)/ Kg of DM of the total mixed ration. Goats were distributed into 4 straw-bedded pens that measured 3x2 m and had a space availability of 1 m²/goat. Each pen had a common feeder and a bucket for water. One animal died (EOT treatment) during the experiment, and two were removed (CTR treatment) due to mastitis. There was no evidence of any relation between these events and experimental treatments.

The experiment consisted of one week adaptation of animals to experimental conditions, and the experimental period that lasted from approximately 15 days before kidding to 30 days after kidding. Goats were fed a total mixed ration (TMR, Table 1), including ryegrass hay chopped at around 7 cm length using a machine (Sterwings, Germany), alfalfa pellets, concentrate and sugar cane molasses in which essential oils were blended for EOT. Goats had *ad libitum* access to fresh water and TMR, which was offered once a day at 8:30 a.m per group. The amount of TMR offered and refused was recorded daily, and was calculated from intake observed the previous day, allowing a minimum of 15 % refused feed. The average daily DMI was calculated as the difference between the total amount of the TMR offered and refused from daily feed intake records, over the number of goats in the pen. Although individual housing would have been preferred to record individual DMI, it was not possible in the facilities of the farm. Weekly samples of the TMR were collected throughout the experiment for analysis of composition. Individual body weight (BW) and body condition score (BCS) were recorded just before experimental period, and then, measured weekly according to Russell *et al.* (1969) on a scale of 1 to 5 to the nearest 0.25. Body weights of kids at birth were also recorded. Goats were milked once a day at 8:00 a.m., and milk production was recorded three times a week. Twice a week, individual milk samples were taken. Blood samples were collected at days -10, -7, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +5, +7, and +15 (where 0 is the kidding day) from the jugular vein to measure plasma levels of glucose, β -hydroxybutyrate, non-esterified fatty acids, triglycerides, and insulin.

Experiment 2

Twenty-eight multiparous pregnant goats of Murciano-Granadina breed (milk purpose) were distributed in 4 pens (7 goats for pen). Goats had a space availability of 0.86 m²/goat, pens had a common feeder and a bucket for water, and were bedded with straw (placed weekly).

Treatments were four commercial products provided by Nutega (Nuevas Tecnologías de Gestión Alimentaria, S.L., Madrid, Spain), and each one was assigned to a pen: 1) MG, at doses of 36.92 g/goat/ day, containing 24 g/goat/day of monopropylene glycol; 2) GLY at doses of 60 g/goat/day, containing 24 g/goat/day of glycerol; 3) MG-B, at doses of 44.32 g/goat/day, containing 24 g of monopropylene glycol, 14 mg of vitamin B1 (thiamine), 14 mg of vitamin B2 (riboflavin) and 2.4 g of vitamin B3 (niacin); 4) GLY-MG-B at doses of 56.47 g/goat/day, including 18.24 g of glycerol, 5.36 g of monopropylene glycol, 3.96 g of calcium propionate, 2.82 g of vitamin B3 (niacin), and 2.14 g of cobalt. Goats were controlled from approximately 25 days before estimated date of kidding (10 days of adaptation and 15 experimental days) to 30 days after kidding. Six goats were taken out from the studies. There was no evidence of any relation between these events and experimental treatments. Hence, at the end of experiment the pens were as follows: pen MG: 5 goats; pen GLY: 6 goats, pen MG-B: 4 goats, pen MPG: 7 goats. Body weights of kids at birth were also recorded. During the adaptation period, treatments were administrated at 25 % of the doses. Forage was offered per group *ad libitum* twice daily at 09:30 a.m. and at 5:00 p.m., and included fescue hay and alfalfa pellets in a proportion of 75:25, respectively. The amount of fescue hay and alfalfa pellets offered was calculated per pen from intake observed the previous day, allowing a minimum of 15 % refused feed. In order to assure intake, treatments were blended with 241 g of DM of high energy mix offered individually to goats in the milking parlour, once a day at 8:30 a.m. during milking. At 4:00 p.m. goats individually received 181 g of DM of concentrate during prepartum and 361 g of DM during postpartum. Ingredients of the diet are presented in Table 2 and 3. The average forage intake was calculated as the difference between the total amount of forage offered and refused from daily feed intake records, over the number of goats in the pen. Weekly samples of the diet were collected for each treatment throughout the experiment for analysis of composition. Body weight and body condition score were individually recorded -15, 0, 15 and 30 d around kidding, according to Russell *et al.* (1969) on a scale of 1 to 5 to the nearest 0.25. Blood samples were collected at days -15, -7, -3, -1, 0, 1, 3, 5, 7, 15 and 30 d (where 0 is the kidding day) from the jugular vein to measure plasma concentration of glucose, β -hydroxybutyrate, non-esterified fatty acids, triglycerides, and insulin, as energy metabolism blood indicators.

Chemical Analysis

Samples were ground through a 2-mm stainless steel screen and were analyzed for DM by oven drying at 103 °C in a forced-air oven for 24 h (AOAC, 1990; ID 950.01), and for ashes by heating at 550 °C for 4 h (AOAC, 1990; ID 942.05). Protein content was determined by the Kjeldahl procedure ($N \times 6.25$; AOAC, 1990; ID 976.05), using a Kjeltec Auto 1030 Analyzer (Foss España S.A., Barcelona, Spain). Ash corrected neutral detergent fiber and acid detergent fiber were determined by the method of Van Soest *et al.* (1991), using α -amylase (FAA 250) and sodium sulphite (Ankom 200 Fiber Analyzer; Ankom Technology Corporation, Gomensoro Instrumentación Científica, Spain). The ether extract was determined (AOAC, 2006, 2003.05 and 2003.06 procedures), using the semi-automatic 2055 Soxtec system (Foss, Barcelone, Spain). Milk samples of approximately 50 mL/goat were collected in a plastic vial, preserved with an antimicrobial tablet (Bronopol, Broad Spectrum Microtabs II, D&F Control Systems Inc., San Ramon, CA), and stored at 4°C until analysis. Milk fat, protein and lactose concentrations and somatic cell count (SCC) were determined in Allic laboratories (Cabriils, Barcelona, Spain) using infrared spectroscopy (MilkoScan 4000 + Fossomatic 5000, Foss Electric, Hillerød, Denmark). Milk yields of fat, protein and lactose were calculated by multiplying Kg of milk production and respective percentages of each sample, and then dividing per one hundred.

One blood sample (5 mL) was harvested without additives (BD Vacutainer, Franklin Lakes, NJ) for β -hydroxybutyrate, non-esterified fatty acids, triglycerides and insulin concentration analysis, whereas a second blood sample (5 mL) was harvested with 5 mg of sodium fluoride and 4 mg of potassium oxalate (BD Vacutainer) for subsequent glucose determination. All blood samples were centrifuged at 1,400 x g for 15 minutes at 15°C to obtain serum, which was frozen at -20°C until analysis. β -hydroxybutyrate was determined with Olympus AU400 analyzer (series 3112676, Germany), using RANBUT D-3-Hydroxybutyrate reactive (Randox®, United kingdom), through the kinetic enzymatic method (McMurray *et al.*, 1984). Total non-esterified fatty acids were analyzed with Olympus AU400 analyzer (series 3112676, Germany), using non-esterified fatty acids C reactive (Wako®; Germany), through the ACS-ACOD-MEHA (acyl-CoA synthetase, acyl-CoA oxydase, 3-methyl-N-ethyl-N- β -hydroxyethyl-aniline) enzymatic colorimetric method (Krebs *et al.*, 2000). Triglycerides were measured with Olympus AU400 analyzer (series 3112676, Germany), using OSR (Olympus System Reagent®, Olympus®, Irland), through the glycerol phosphate oxidase enzymatic method (Tietz, 1995). Glucose was assayed with Olympus AU400 analyzer (series 3112676, Germany) using OSR (Olympus System Reagent®, Olympus®, Irland), through the hexokinase method

(Sacks, 1999). Plasma insulin concentration was analyzed with sandwich ELISA (Mercodia Ovine Insulin ELISA, Mercodia®, Sweden), using the EMS Reader MF V.2.9-0.

Statistical analysis for the experiment 1

Data of dead or removed goats were excluded from the analysis. The experiment was a completely randomized design with the pen as the experimental unit for DMI and the goat for the remained parameters. The model included the treatment as fixed effect. The fixed effects of treatment by prepartum-postpartum status interaction, as well as the treatment by days or weeks interaction were removed from model, because they were not significant, or because the model didn't have sufficient degrees of freedom. The week was the repeated measurement for DMI, BW, BCS, milk production and milk composition analysis, whereas the day was repeated measure for blood metabolites analysis. The period was the random effect. Covariates included: 1) the body weight of the goat at the beginning of the experiment, and the sum of the kids body weights at birth for goat body weight analysis; 2) the sum of the kids body weights at birth for milk production, and 3) milk production set in the same day of milk composition sample for fat, protein and lactose yield analysis. Statistical differences among treatment means were determined using the PROC MIXED of SAS 9.2. (Version 9.2., SAS, Inst. Inc., Cary, NC), except for DMI and somatic cell count that were determined using PROC GLIMMIX of SAS 9.2. Comparison of means was adjusted by the Tukey's test. Differences among treatments were declared at $P < 0.05$ and tendencies were discussed at $P < 0.10$.

Statistical analysis for the experiment 2

Data of removed goats were excluded from the analysis. The experiment was a completely randomized design with the goat as experimental unit. The fixed effects were: 1) the treatments for all measurements; 2) the productive status and the treatment by productive status interaction for BW and BCS analysis; 3) the week and the treatment by week interaction for milk production and milk composition analysis, and 4) the day and the treatment by day interaction for metabolite plasma concentration analysis. The repeated measurements were: 1) the productive status for BW and BCS analysis (prepartum, kidding, 15 days after parturition, and 30 days after parturition); 2) the week for milk production and milk composition analysis, and 3) the day for metabolite plasma concentration analysis. Covariates included: 1) the sum of the kids body weights at birth for body weight and milk production

analysis, and 2) milk production set in the same day of milk composition sample for fat, protein and lactose yield analysis. Statistical differences among treatment means were determined using the PROC MIXED of SAS 9.2. (Version 9.2., SAS, Inst. Inc., Cary, NC), except for somatic cell count that were determined using PROC GLIMMIX of SAS 9.2. The SLICE option of SAS was used to identify differences among treatments within: 1) the productive status intervals for body weight and body condition score analysis; 2) the week intervals for milk production and composition analysis, and 3) the day intervals for metabolite plasma concentration analysis. Comparison of means was adjusted by the Tukey's test. Differences among treatments were declared at $P < 0.05$ and tendencies were discussed at $P < 0.10$. As experimental unit of forage intake was the pen ($n = 1$), average forage DMI is reported.

Result and discussion of Experiment 1

Throughout the experiment, goats had neither clinical nor subclinical signs of pregnancy toxemia, as expected. Indeed, the most specific indicators of pregnancy toxemia remained into the physiological range, below 0.74 mmol/L for β -hydroxybutyrate (Bani Ismail *et al.*, 2008), below 1.37 mmol/L for non-esterified fatty-acids (Barakat *et al.*, 2007), and above 20 mg/dL for glucose (Hefnawy *et al.*, 2011) as shown in Table 4. Dry matter intake was similar between treatments (1.93 Kg/goat/day). The measurement of goat DMI should be individual instead of per group, but it was not possible. Capsicum was expected to increase DMI of goats, as reported in beef cattle by Cardozo *et al.* (2006), Fandiño *et al.* (2008) and Rodríguez-Prado *et al.* (2012). Similarly to our result, Tager and Krause (2011) found no effect on DMI in early lactation cows supplemented with capsicum, suggesting that capsicum increases DMI in beef livestock, but not in dairy livestock. Goats had similar BW and BCS between treatments (51.2 Kg, and 2.8 Kg, respectively). Plasma metabolites concentrations were not affected by treatments, and averages during the experiment were 56.2 mg/dL for glucose, 0.51 mmol/L for β -hydroxybutyrate, 0.59 mmol/L for non-esterified-fatty acids, 20.7 mg/dL for triglycerides, and 0.37 μ g/L for insulin. Bach *et al.* (2005) supplemented eugenol plus cinnamaldehyde to lactating cows, and observed a decreased acetate proportion and acetate:propionate ratio, and the propionate concentration tended to increase. However, plasma concentration of non-esterified-fatty-acids was similar to control cows, suggesting that the combination of eugenol and cinnamaldehyde improved nutrient utilization, but the response was not strong enough to induce a reduction of fat mobilization. Tager and Krause (2011) carried on a similar experiment with cows, but ruminal fermentation was not affected by treatments. In a recent study conducted in batch cultures using ruminal fluid of Murciano-

Granadina goats, EUG and CIN were tested separately, and had no effect on total volatile fatty acids, on ruminal bacteria and on protozoa population, and increased acetate to propionate ratio (Martínez-Fernández *et al.*, 2013). Taken together, these data suggest that the blend of EUG and CIN was unable to reduce body fat mobilization and improve energy metabolism in dairy ruminants. There was no difference on milk production due to the treatments (1913 mL/goat/day). Milk fat concentration tended to be higher for EOT compared with CRT (6.47 vs 5.96 %, respectively), but milk fat yield was similar between treatments (average 122 g/Kg). Milk protein and lactose were similar in yield (74 and 97 g/Kg, respectively) and in concentrations (3.9 and 4.8 %, respectively) between treatments, as well as somatic cell count (3,211,000/mL). Accordingly, Tager and Krause (2011) found no difference on milk production and composition in cows supplemented with eugenol plus cinnamaldehyde.

Essential oils appear to have beneficial, counterproductive or inconsistent effects depending of several factors, such the doses, the diet and the ruminal pH (Cardozo *et al.*, 2005; Castillejos *et al.*, 2006). In the current experiment, doses of EO was not assured to be exact for each goat, because of the method of administration of EO, and the pronounced hierarchy during eating in goats (Radostits *et al.*, 1994). To our knowledge, this is the first time that EO were tested in goat during the transition period and early lactation (productive status). Therefore, the adjustment of the doses *in vivo* may be complicated by several factors. There are several experiments conducted in dairy ruminant with EO, but only a few are comparable. For example, a commercial blend of essential oils (CRINA®) was offered to cows (Benchaar *et al.*, 2006 and 2007) and to ewes (Giannenas *et al.*, 2011) at doses recommended by the manufacturer. Milk production and rumen fermentation profiles were improved for ewes but not for cows, and milk lactose concentration was higher for cows in Benchaar *et al.* (2007), but not for Benchaar *et al.* (2006) nor Giannenas *et al.* (2011). Therefore, results of experiments using EO in dairy livestock are inconsistent, characterized by high variability, low repeatability responses.

Results and discussion of Experiment 2

Goats had an average forage dry matter intake of 1.53 Kg/goat/day, and had no sign of pregnancy toxemia. Body weight (Table 5) was similar among treatments (average 44.7 Kg), decreased after kidding (data not shown) and the treatment by productive status interaction was not significant (data not shown). There were no differences on BCS (Figure 1) among treatments ($P = 0.105$), and at 30 days after kidding, BCS of all goats had increased BCS ($P = 0.035$). However, treatment by productive status interaction revealed that at day 15 post-kidding BCS was higher for MG compared with the other treatments, and lower for MG-B compared with GLY-MG-B ($P = 0.022$). Blood metabolite were similar among treatments (Table 3), and treatment by day interaction was not significant (data not shown), but were different along days (data not shown), except for insulin. There were no statistical differences on milk production (Table 5) among treatments (average 1703 mL/goat/day) and among weeks (data not shown), and the treatment by week interaction was not significant (data not shown). Somatic cell count (Table 5) showed no differences due to treatments (average 1906 x1000/mL), and the week effect and the treatment by week interaction effect were not significant. Milk fat concentration was higher for GLY and GLY-MG-B compared with MG and MG-B, and milk fat yield was higher for GLY compared with MG and MG-B, and lower for MG-B compared with GLY-MG-B (Figure 2). Milk fat concentration and yield were higher for all goats during the first week of lactation, and then decreased during the remaining weeks ($P < 0.0001$), and treatment by week interactions were not significant ($P > 0.05$). Milk protein concentration and yield (Figure 3) were higher for GLY compared with the other treatments ($P = 0.034$ and 0.044 , respectively), progressively decreased along weeks ($P < 0.0001$), and treatment by week interactions were not significant ($P > 0.05$). There were no differences on milk lactose concentration and yield (Figure 4) among treatments ($P > 0.05$), treatment by week interactions were not significant ($P > 0.05$), and lactose sharply increased from week 1 to week 2, and afterwards slightly decreased ($P < 0.0001$).

Propylene glycol increased glucose and reduced β -hydroxybutyrate and non-esterified-fatty acids in goats and ewes (Chiofalo *et al.*, 2005; Chiofalo *et al.*, 2009), and in a review Nielsen and Ingvarsten (2004) concluded that propylene glycol improves blood profile. In contrast, the effect of glycerol on blood energy indicators has not been studied yet in goat, but in toxemic ewes glycerol reduced ketone bodies, and increased plasmatic concentration of citrate (Reid, 1960), that is involved in the inhibition of ketogenesis (Jesse *et al.*, 1986). In healthy cows, glycerol generally increased glucose, but didn't reduce fat mobilization

compared with control (DeFrain *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2009; Lomander *et al.*, 2012). Both propylene glycol and glycerol have been shown to increase milk production compared with control in ruminant (Chiofalo *et al.*, 2009; Bodarski *et al.*, 2005). Lomander *et al.* (2012) also compared the propylene glycol and glycerol with control but not each other in cow, and reported that glycerol increased milk production, and propylene glycol also tended to do the same. Accordingly, the results of Experiment 2 indicate that monopropylene glycol and glycerol have similar effects on glycaemia, fat mobilization, ketonemia, and milk production in goat. When monopropylene glycol and glycerol are administered together and/or mixed with vitamin B and/or calcium propionate and/or cobalt energy profile of goats did not change, suggesting that the combination of these components were additive, but not synergy.

In several experiments conducted in cows and sheep, glycerol was observed to have gluconeogenic effect (Johnson, 1955; Reid, 1960; Sauer *et al.*, 1973). Milk fat content was expected to be lower for GLY compared with MG, because propylene glycol has been shown to increase it in ewes (Chiofalo *et al.*, 2005), but not glycerol in cows compared with control (Fisher *et al.*, 1971; Bodarski *et al.*, 2005). When energy metabolism is improved, an increase of milk protein content has also been observed (Rook and Line, 1961, Huber and Boman, 1966), likely due to a reduction of the use of aminoacids for gluconeogenic purpose. Fisher *et al.* (1971) observed that glycerol increased DMI and milk protein in cows compared with propylene glycol. High level of forage intake is also associated with higher level of milk fat production (Woodford *et al.*, 1986). In the current experiment forage intake exceeded from 50 to 150 g/goat/day of DM in GLY compared with other treatments. Therefore, GLY may have improve milk composition by different ways: 1) a slightly higher gluconeogenic effect on energy metabolism of goats compared with the other treatments; 2) the numerically higher forage intake, and 3) although milk production was statistical similar among treatments, GLY showed the numerical lower value that could have apparently increased milk fat and protein content.

In the current experiment, the increase of milk fat due to a numerical increase of forage intake could be reasonable for GLY, but not for GLY-MG-B, which had the numerical lowest forage intake. In a meta-analysis, Rebiee *et al.* (2010) estimated that trace elements including cobalt increase to a maximum of 20 % the daily milk fat yield of dairy cow, similar to the significant difference of milk fat yield between GLY-MG-B and MG-B. However, in other studies cobalt had been shown to modify milk fatty acids profile but not milk fat production in

CAPÍTULO 3

cow and ewe (Karlengen *et al.*, 2013; Frutos *et al.*, 2014). Therefore, it is not clear why GLY-MG-B had higher milk fat compared with MG and MG-B.

As BCS analysis indicates, goats fed monopropylene glycol (MG) had the best energy recovery after parturition, but in contrast, when monopropylene glycol was blended with vitamin B (MG-B) goats showed the slightly lowest body fat condition at day 15 after parturition. It is unlikely that the lower BCS at day 15 of MG-B is due vitamin B components, that was reported to have no effect on energy metabolite profile, nor in hepatic functionality in ewes during peripartum (Dos Santos *et al.*, 2012), and to improve efficiency of ruminal microorganisms (Chen and Wolin, 1981; Tanner and Wolfe, 1988; Strobel, 1992) and lactational performance in cow (Zahra *et al.*, 2006; Graulet *et al.*, 2007). The fact that goats supplied with MG-B had the lowest BCS after kidding, the numerical highest milk production, and the numerical lowest insulin concentration, may suggest MG-B may improve productive efficiency compared with the other supplementations. However, as milk production and insulin statistical analysis were not significant, more research is needed to elucidate the potential of MG-B as supplementation compared with the others.

Conclusions

The combination of capsicum, eugenol and cinnamaldehyde had no effect on DMI, BW, BCS, blood metabolites, milk production and composition of goats during transition and early-lactation, indicating that they did not improve energy metabolism and performances. The adjustment of the doses *in vivo* may be complicated by several factors, and results of experiments using type of EO in dairy livestock are inconsistent, characterized by high variability and low repeatability. More research is required to optimize the use of EO as zootechnical additive.

The results of Experiment 2 showed that, in general, the four gluconeogenic supplementations had similar effects on energy metabolism and performance of goats around kidding, but glycerol by itself stood out by increasing milk fat and protein contents, although the reason is not clear. The combination of glycerol, monopropylene glycol, vitamins B, calcium propionate and cobalt had no synergic effect, and more research is needed to elucidate the mechanisms of action of these gluconeogenic supplementations on dairy goats around kidding and in early-lactation in intensive conditions.

Acknowledgements

The authors thank the staff of “Servei de Granges i Camps Experimentals” of Universitat Autònoma of Barcelona, the intermediation of “Animal Nutrition and Welfare Service” (SNIBA), PANCOSMA for funding Experiment 1, and NUTEGA for funding Experiment 2.

References

- Bach, A., Calsamiglia, S., Greathead, H.M.R., Kamel, C., 2005. Effects of a combination of eugenol and cinnamaldehyde on ruminal protein and volatile fatty acids in lactating dairy cows, in: 4 BOKU-Symposium. Tierernährung ohne antibiotische Leistungsförderer, pp. 154–158.
- Bani Ismail, Z.A., Al-Majali, A.M., Amireh, F., Al-Rawashdeh, O.F., 2008. Metabolic profile in goat does in late pregnancy with and without subclinical pregnancy toxemia. *Vet. Clin. Path.* 37, 434–437.
- Barakat, S.E.M., Al-Bhanasawi, N.M., Elazhari, G.E., Bakhict, A.O., 2007. Clinical and serobiochemical studies on naturally occurring pregnancy toxemia in Shama goats. *J. Anim. Vet. Adv.* 6(6), 768–772.
- Benchaar, C., Petit, H.V., Berthiaume, R., Whyte, T.D., Chouinard, P.Y., 2006. Effects of addition of essential oils and monensin premix on digestion, ruminal fermentation, milk production, and milk composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 4352–4364.
- Benchaar, C., Petit, H.V., Berthiaume, R., Ouellet, D.R., Chiquette, J., Chouinard, P.Y., 2007. Effects of essential oils on digestion, ruminal fermentation, rumen microbial populations, milk production, and milk composition in dairy cows fed alfalfa silage or corn silage. *J. Dairy Sci.* 90, 886–897.
- Bodarski, R., Wertelecki, T., Bommer, F., Gosiewski, S., 2005. The changes of metabolic status and lactation performance in dairy cows under feeding TMR with glycerin (glycerol) supplement at periparturient period. *Electron. J. Polish Agric. Univ.* 8, 22–30.
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2005. Screening for effects of plant extracts and active compounds of plants on dairy cattle rumen microbial fermentation in a continuous culture system. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123, 597–613.

CAPÍTULO 3

- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2006. Plant extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 89, 761–771.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P.W., Castillejos, L., Ferret, A., 2007. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 90, 2580–2595.
- Cardozo, P.W., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2005. Screening for the effects of natural plant extracts at different pH on *in vitro* rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 83, 2572–2579.
- Cardozo, P.W., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2006. Effects of alfalfa extract, anise, capsicum and a mixture of cinnamaldehyde and eugenol on ruminal fermentation and protein degradation in beef heifers fed a high concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 84, 2801–2808.
- Castillejos, L., Calsamiglia, S., Ferret, A., 2006. Effect of essential oils active compounds on rumen microbial fermentation and nutrient flow in *in vitro* systems. *J. Dairy Sci.* 89, 2649–2658.
- Chen, M., Wolin, M.J., 1981. Influence of heme and vitamin B12 on growth and fermentations of *Bacteroides* species. *J. Bacteriol.* 145, 466–471.
- Chiofalo, V., Todaro, M., Liotta, L., Margiotta, S., Manzo, T., Leto, G., 2005. Effect of propylene glycol on pre- and postpartum performance by dairy ewes. *Small Rumin. Res.* 58, 107–114.
- Chiofalo, V., D'Aquino, S., Tenghi, E.S., Sansarello, L., Piccitto, F., Chiofalo, B., Piccitto, F., Cavallaro, M., Liotta L., 2009. Effect of peripartal propylene glycol supplementation on some biochemical parameters in dairy goats. *Trop. Subtr. Agroecosyst.* 11, 215–217.
- Clapperton, J.L., Czerkawski, J.W., 1972. Metabolism of propane-1: 2-diol infused into the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.* 27, 553–560.
- Czerkawski, J.W., Breckenridge, G., 1973. Dissimilation of 1, 2-propanediol by rumen microorganisms. *Br. J. Nutr.* 29, 317–330.

- DeFrain, J.M., Hippen, A.R., Kalscheur, K.F., Jardon, P.W., 2004. Feeding glycerol to transition dairy cows: Effects on blood metabolites and lactation performance. *J. Dairy Sci.* 87, 4195–4206.
- Dos Santos, R.A., Campos, A.G.S., Afonso, J.A.B., Soares, P.C., De Mendonça, C.L., 2012. Efeito da administração de propileno glicol e cobalto associado à vitamina B. *Pesq. Vet. Bras.* 32(Supl 1), 60–66.
- Fandiño, I., Calsamiglia, S., Ferret, A., Blanch, M., 2008. Anise and capsicum as alternatives to monensin to modify rumen fermentation in beef heifers fed a high concentrate diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145, 409–417.
- Ferraro, S.M., Mendoza, G.D., Miranda, L.A., Gutierrez, C.G., 2009. *In vitro* gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 154, 112–118.
- Fisher, L.J., Erfle, J.D., Sauer, F.D., 1971. Preliminary evaluation of the addition of glucogenic materials to the rations of lactating cows. *Can. J. Anim. Sci.* 51, 721–727.
- Frutos, P., Toral, P.G., Ramos-Morales, E., Shingfield, K.J., Belenguer, A., Hervás, G., 2014. Oral administration of cobalt acetate alters milk fatty acid composition, consistent with an inhibition of stearoyl-coenzyme A desaturase in lactating ewes. *J. Dairy Sci.*, 97, 1036–1046.
- Giannenas, I., Skoufos, J., Giannakopoulos, C., Wiemann, M., Gortzi, O., Lalas, S., Kyriazakis, I., 2011. Effects of essential oils on milk production, milk composition, and rumen microbiota in Chios dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 94, 5569–5577.
- Graulet, B., Matte, J.J., Desrochers, A., Doepel, L., Palin, M.F., Girard, C.L., 2007. Effects of dietary supplements of folic acid and vitamin B12 on metabolism of dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 90, 3442–3455.
- Hefnawy, A.E., Shousha, S., Youssef, S., 2011. Role of insulin and/or fasting in a protocol for inducing pregnancy toxemia in twin-bearing Zaraibi goats. *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 1, 2026–2030.
- Huber, J.T., Boman, R.L., 1966. Effect of grain level and protein content of the grain for grazing cows on milk composition and yield and certain blood and rumen constituents. *J. Dairy Sci.* 49, 395–398.

CAPÍTULO 3

- Jesse, B.W., Emery, R.S., Thomas, J.W., 1986. Control of bovine hepatic fatty acid oxidation. *J. Dairy Sci.* 69, 2290–2297.
- Johnson, R.B., 1955. The treatment of ketosis with glycerol and propylene glycol. *Cornell Vet.* 44, 6–21.
- Karlengen, I.J., Taugbøl, O., Salbu, B., Aastveit, A.H., Harstad, O.M., 2013. Effect of different levels of supplied cobalt on the fatty acid composition of bovine milk. *Br. J. Nutr.* 109, 834–843.
- Krebs, M., Stingl, H., Nowotny, P., Weghuber, D., Bischof, M., Waldhausl, W., Roden, M., 2000. Prevention of *in vitro* lipolysis by tetrahydrolipstatin. *Clin. Chem.* 46, 950–954.
- Lomander, H., Frössling, J., Ingvarsen, K. L., Gustafsson, H., Svensson, C., 2012. Supplemental feeding with glycerol or propylene glycol of dairy cows in early lactation. Effects on metabolic status, body condition, and milk yield. *J. Dairy Sci.* 95, 2397–2408.
- Martínez-Fernández, G., Abecia, L., Martín-García, A.I., Ramos-Morales, E., Hervás, G., Molina-Alcaide, E., Yáñez-Ruiz, D.R., 2013. *In vitro–in vivo* study on the effects of plant compounds on rumen fermentation, microbial abundances and methane emissions in goats. *Animal.* 7, 1925–1934.
- McMurray, C.H., Blanchflower, W.J., Rice, D.A., 1984. Automated kinetic method for D-3-hydroxybutyrate in plasma or serum. *Clin. Chem.* 30, 421–425.
- Nielsen, N.I., Ingvarsen, K.L., 2004. Propylene glycol for dairy cows: A review of the metabolism of propylene glycol and its effects on physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115, 191–213.
- Osman, M.A., Allen, P.S., Mehayar, N.A., Bobe, G., Coetzee, J.F., Koehler, K.J., Beitz, D.C., 2008. Acute metabolic responses of postpartal dairy cows to subcutaneous glucagon injections, oral glycerol or both. *J. Dairy Sci.* 91, 3311–3322.
- Rabiee, A.R., Lean, I.J., Stevenson, M.A., Socha, M.T., 2010. Effects of feeding organic trace minerals on milk production and reproductive performance in lactating dairy cows: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 93, 4239–4251.
- Radostits, O., Blood, D.C., Gay, C.C., 1994. *Veterinary Medicine.* 8th (Eds), Baillière Tindall, pp. 1354.

- Reid, R.L., 1960. Studies on the carbohydrate metabolism of sheep. IX. Metabolic effects of glucose and glycerol in undernourished pregnant ewes and in ewes with pregnancy toxemia. *Aust. J. Agric. Res.* 11, 42–47.
- Rodríguez-Prado, M., Ferret, A., Zwieten, J., Gonzalez, L., Bravo, D., Calsamiglia, S., 2012. Effects of dietary addition of capsicum extract on intake, water consumption, and rumen fermentation of fattening heifers fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 90, 1879–1884.
- Rook, J. A. F., and C. Line. 1961. The effect of the plane of energy nutrition of the cow on the secretion in milk of the constituents of the solids-not-fat fraction and on the concentrations of certain blood plasma constituents. *Br. J. Nutr.* 15, 109–119.
- Rook, J.S., 2000. Pregnancy toxemia of ewes, does, and beef cows. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 16, 293–317.
- Russell, A.J.F., Doney, J.M., Gunn, R.G., 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci.* 72, 451–454.
- Sacks, D.B., 1999. Carbohydrates. In: Burtis, C.A., Ashwood, E.R. (Eds), *Tietz textbook of clinical chemistry*. WB Saunders Company, Philadelphia, pp. 766–785.
- Sauer, F.D., Erfle, J.D., Fisher, L.J., 1973. Propylene glycol and glycerol as a feed additive for lactating dairy cows: an evaluation of blood metabolite parameters. *Can. J. Anim. Sci.* 53, 265–271.
- Strobel, H.J., 1992. Vitamin B12-dependent propionate production by the ruminal bacterium *Prevotella ruminicola* 23. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 2331–2333.
- Tager, L.R., Krause, K.M., 2011. Effects of essential oils on rumen fermentation, milk production, and feeding behavior in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 2455–2464.
- Tanner, R.S., Wolfe, R.S., 1988. Nutritional requirements of *Methanomicrobium mobile*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 54, 625–628.
- Tietz, N.W., 1995. *Clinical guide to laboratory tests*. 3rd Ed. WB Saunders Company. Philadelphia, pp. 610–611.

CAPÍTULO 3

- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.
- Wang, C., Liu, Q., Yang, W. Z., Huo, W.J., Dong, K.H., Huang, Y.X., Yang, X.M., He, D.C., 2009. Effects of glycerol on lactation performance, energy balance and metabolites in early lactation Holstein dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 151, 12–20.
- Woodford, J.A., Jorgensen, N.A., Barrington, G.P., 1986. Impact of dietary fiber and physical form on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69, 1035–1047.
- Zahra, L.C., Duffield, T.F., Leslie, K.E., Overton, T.R., Putnam, D., LeBlanc, S.J., 2006. Effects of rumen-protected choline and monensin on milk production and metabolism of periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 4808–4818.

Table 1. Experiment 1. Ingredients and chemical composition of the total mixed ration (TMR).

Ingredient composition of the TMR (% DM ¹)	
Rye-grass hay	38.7
Alfalfa pellets	19.3
Sugar cane molasses	3.4
Concentrate	38.6
Ingredients of the concentrate (% DM)	
Barley	21.4
Soybean hulls	21.4
Sunflower meal	21.4
Beet pulp	31.8
Sunflower oil	3.0
Sodium bicarbonate	0.2
Sodium chloride	0.5
Premix ²	0.3
Chemical composition of the TMR ³	
DM (%)	87.5
CP (% DM)	15.8
NDF (% DM)	31.2
ADF (% DM)	17.0
Ashes (% DM)	9.7

¹ DM: Dry matter.

² Sodium citrate (4 g/100 g); Magnesium sulphate (0.8 g/100 g); Calcium gluconate (4.3 g/100 g); Vitamin A (50,000 U.I./100 g).

³ CP: Crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber.

Table 2. Experiment 2. Ingredients and chemical composition of the diet.

Ingredient composition of the diet (% DM ¹)	Prepartum	Postpartum
Fascue hay	44.7	39.9
Alfalfa pellets	14.9	13.3
Concentrate	8.9	18.5
Hay energy mix	31.6	28.2
Chemical composition of the diet on DM basis		
DM %	97.0	96.6
CP ² %	15.4	15.3
NDF %	33.3	29.7
ADF %	18.9	16.9
Ashes %	13.0	10.0

¹DM: Dry matter.

²CP: Crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber.

Table 3. Experiment 2. Ingredients of the concentrate and the high energy mix.

Ingredients of the concentrate (% of DM)	
Barley	21.4
Soybean hulls	21.4
Sunflower	21.4
Beet pulp	31.8
Sunflower oil	3.0
Sodium bicarbonate	0.2
Sodium chloride	0.5
Premix ¹	0.3
Ingredients of high energy mix (% of DM)	
Concentrate	74.7
Soybean	18.7
Sugar cane molasses	6.6

¹Sodium citrate (4 g/100 g); Magnesium sulphate (0.8 g/100 g); Calcium gluconate (4.3 g/100 g); Vitamin A (50,000 U.I./100 g).

Table 4. Experiment 1. Effect of the supplementation of cinnamaldehyde, eugenol and capsicum on goats around kidding.

	Treatments ¹		S.E. ²	P-value
	CRT	EOT		
Dry matter intake (Kg/goat/day)	1.93	1.93	0.265	0.982
Body weight (Kg)	50.6	51.9	0.58	0.127
Body condition score	2.79	2.90	0.095	0.208
Milk production (mL/goat/day)	1,99	1,836	300.3	0.484
Milk composition				
Fat (%)	5.96	6.47	0.307	0.098
Protein (%)	3.81	3.98	0.133	0.371
Lactose (%)	4.85	4.74	0.096	0.374
Somatic cell count (x1000/mL)	2788	3635	1016.7	0.661
Milk yield				
Fat (g/Kg)	118.0	127.0	3.90	0.102
Protein (g/Kg)	73.0	76.0	2.40	0.309
Lactose (g/Kg)	97.0	98.0	1.60	0.666
Plasma concentration				
Glucose (mg/dL)	56.9	55.5	3.58	0.489
β-hydroxybutyrate (mmol/L)	0.52	0.50	0.048	0.736
Non-esterified-fatty-acids ³ (mmol/L)	0.58	0.60	0.075	0.841
Triglycerides (mg/dL)	20.0	21.5	1.15	0.360
Insulin (µg/L)	0.37	0.37	0.040	0.933

¹ CRT: Control; EOT: Essencial oils treatment.

² Standard error of the mean.

³ Non-esterified fatty acids.

Table 5. Dry matter forage intake, and the effect of gluconeogenic supplementations on body weight, milk production, somatic cell count and metabolite plasma concentrations of goats.

	Treatments ¹				SE ²	P-value		
	MG	GLY	MG-B	GLY-MG-B		Treat	Prod Status	Treat X Prod Status
Dry matter forage intake (Kg/goat/day)	1.51	1.60	1.55	1.45	-	-	-	-
Body weight (Kg)	44.7	43.3	44.8	43.2	1.56	0.819	< 0.0001	0.424
						Treat	Weeks	Treat X Weeks
Milk production (mL/goat/day)	1700	1573	1807	1733	198.4	0.835	0.125	0.685
Somatic cell count (x1000/mL)	901	3248	890	2585	1114.9	0.335	0.887	0.912
Plasma concentration:						Treat	Days	Treat X Days
Glucose (mg/dL)	49.7	50.6	49.6	50.2	1.07	0.905	< 0.0001	0.116
β-hydroxybutyrate (mmol/L)	0.35	0.29	0.32	0.37	0.034	0.310	< 0.0001	0.264
Non-esterified-fatty-acids ³ (mmol/L)	0.45	0.42	0.48	0.48	0.051	0.847	< 0.0001	0.579
Triglycerides (mg/dL)	21.4	20.7	21.6	23.0	1.96	0.833	< 0.0001	0.940
Insulin (µg/L)	0.32	0.32	0.15	0.36	0.109	0.611	0.396	0.125

¹ MG, 36.92 g/goat/day, containing 24 g/goat/day of monopropylene glycol; GLY, 60 g/goat/day, containing 24 g/goat/day of glycerol; 3) MG-B, 44.32 g/goat/day, containing 24 g of monopropylene glycol, 14 mg of vitamin B1 (thiamine), 14 mg of vitamin B2 (riboflavin) and 2.4 g of vitamin B3 (niacin); 4) GLY-MG-B, 56.47 g/goat/day, including 18.24 g of glycerol, 5.36 g of monopropylene glycol, 3.96 g of calcium propionate, 2.82 g of vitamin B3 (niacin), and 2.14 g of cobalt.

² Standard error of the mean.

³ Non-esterified fatty acids.

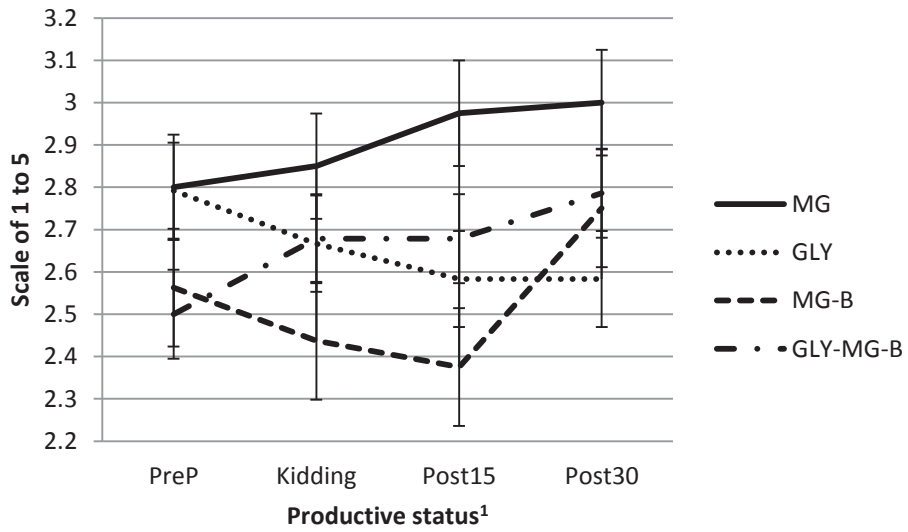


Figure 1. Evolution of body condition score over weeks among treatments.

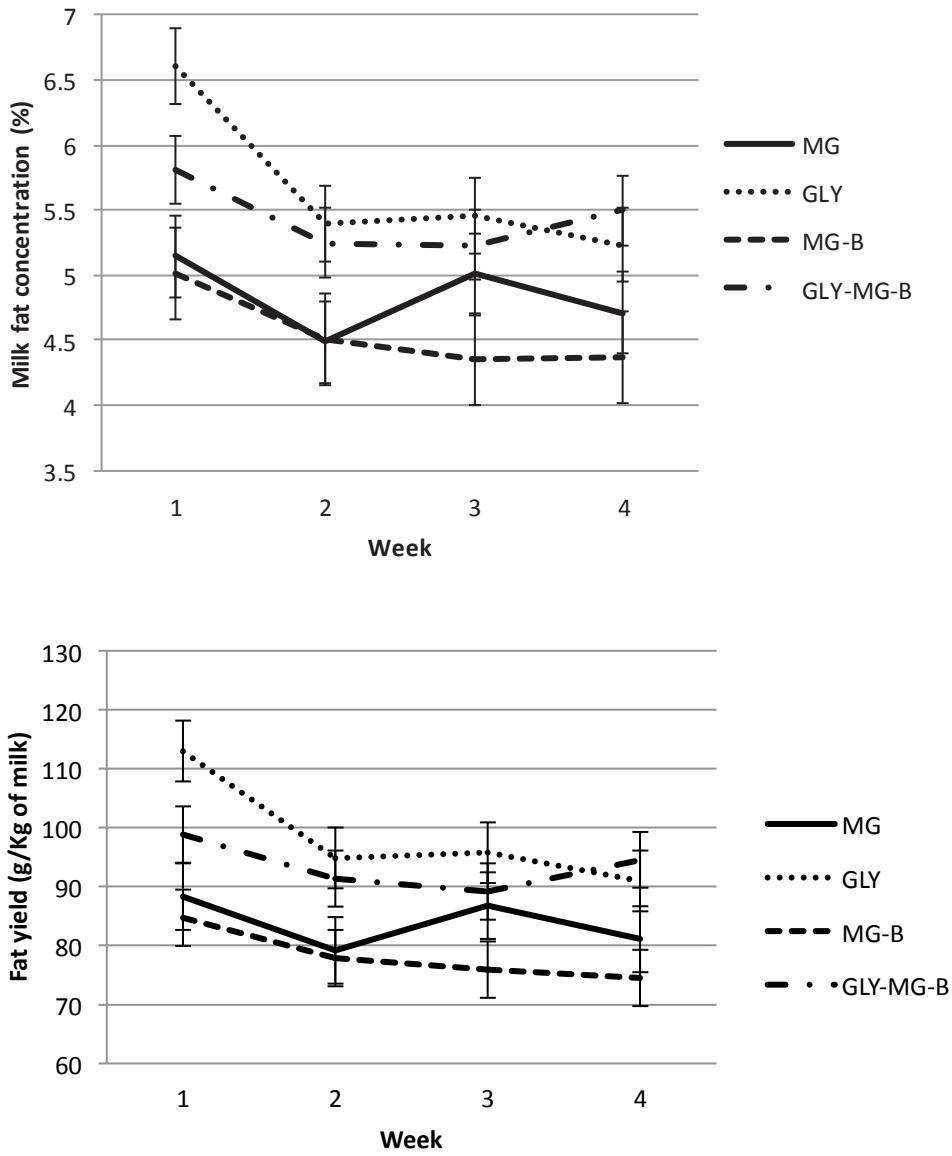


Figure 2. Evolution of milk fat concentration and yield over weeks among treatments.

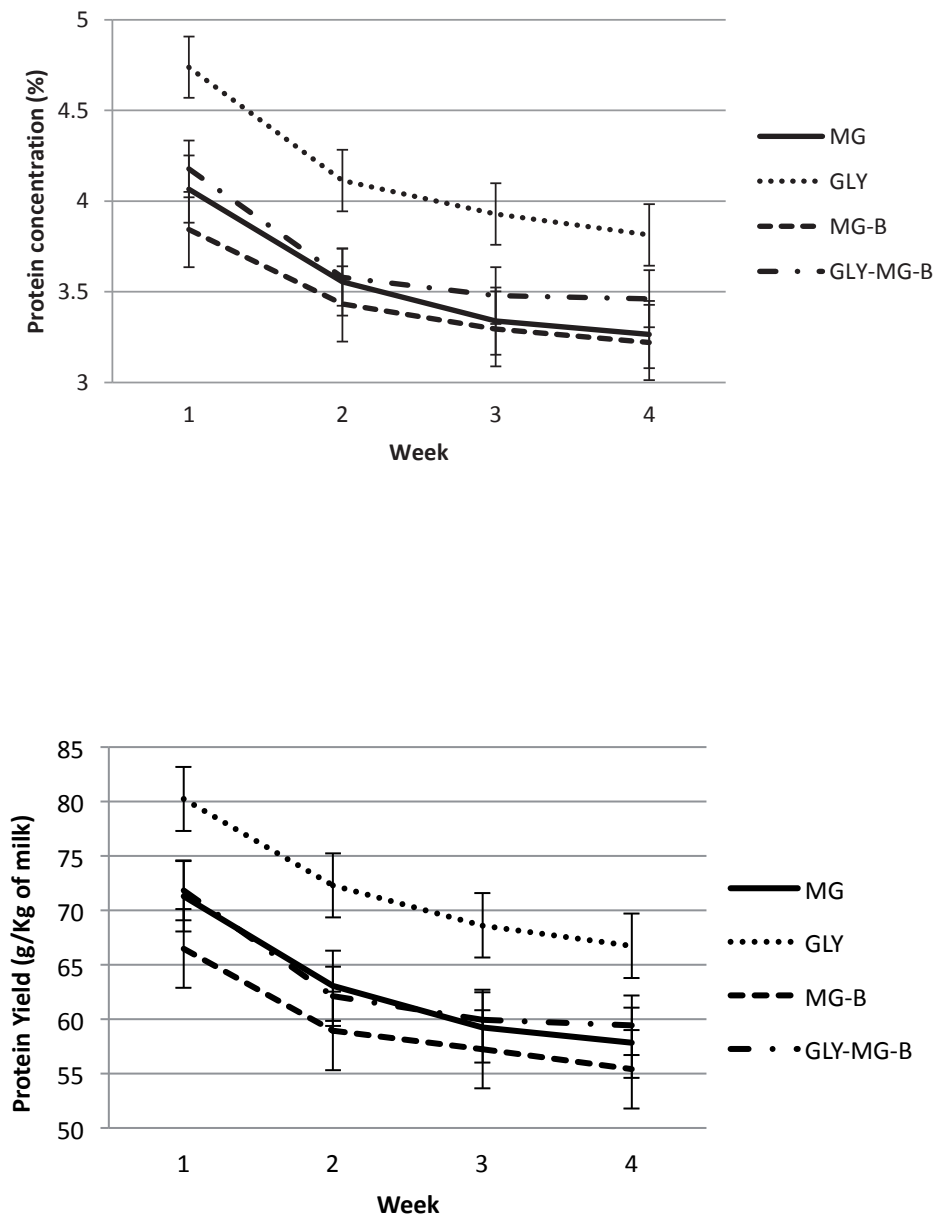


Figure 3. Evolution of milk protein concentration and yield over weeks among treatments.

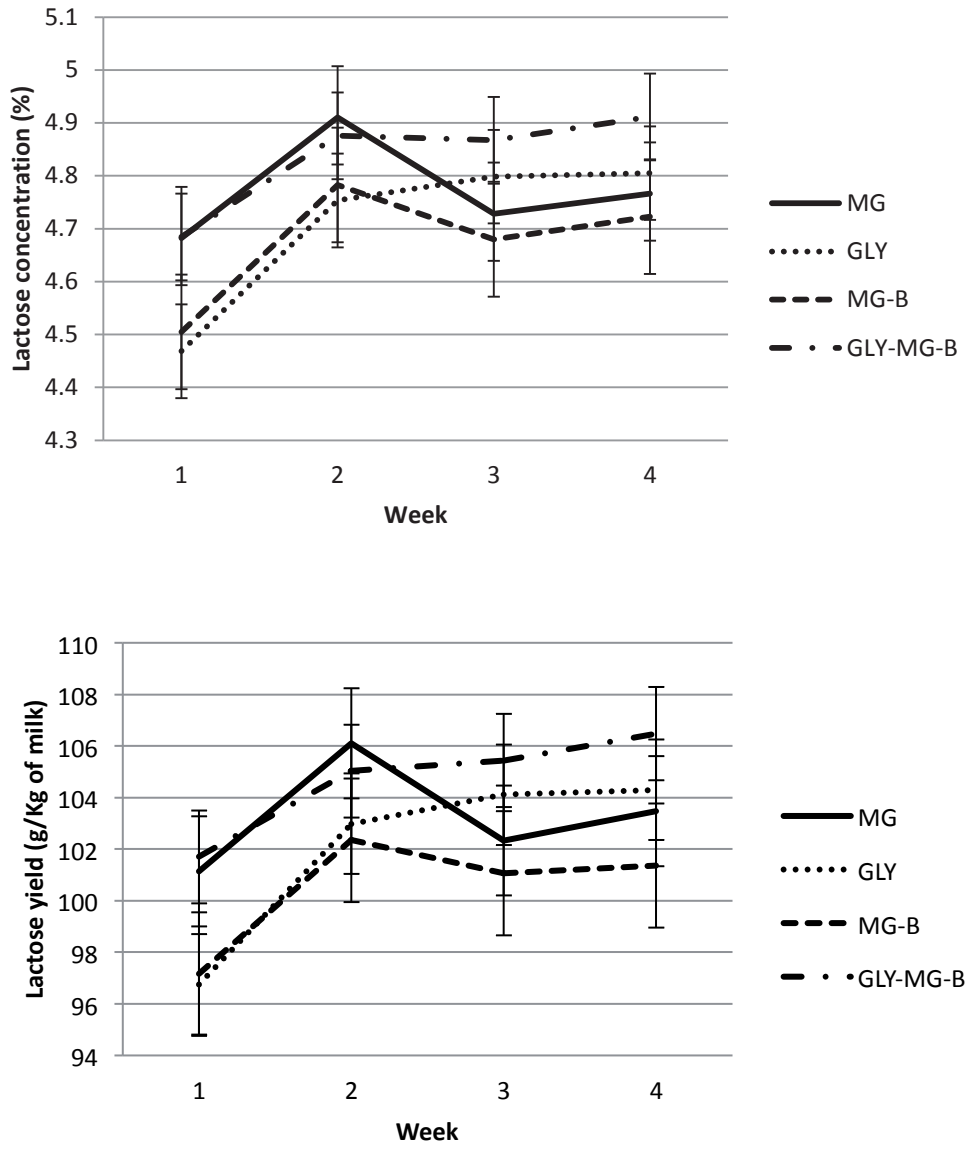


Figure 4. Evolution of milk lactose concentration and yield over weeks among treatments.

CAPÍTULO 4

Effect of the supplementation of sodium butyrate

on milk fat concentration

of mid-lactation dairy goats

Effect of the supplementation of sodium butyrate on milk fat concentration of mid-lactation dairy goats

Abstract

In the European Union the dairy goat production system is getting intensive. Maximizing the fermentable starch intake is required to assure full productive potential expression of dairy goats. However, high concentrate intake depresses milk fat content. The supplementation of milk fat precursors, such as butyrate, in the diet may increase milk fat content. The aim of this experiment was to determine the effect of the supplementation of sodium butyrate (SB) at different doses in the diet on milk fat yield in mid-lactation dairy goats. Goats were distributed in 4 pens (5 goats per pen). Each pen was assigned to a treatment: SB0, no additive; SB7, 7 g/goat/day of SB; SB14, 14 g/goat/day of SB; SB21, 21 g/goat/day of SB. Sodium butyrate was offered mixed with a high energy mix feed individually. Moreover, goats were fed forage *ad libitum* in the common feedbunk, and concentrate individually. After an adaptation period of 15 days to treatments, body weight gain, body condition score, β -hydroxybutyrate plasma concentration, milk production and milk composition were individually recorded throughout a sampling period of 15 days. Two goats fed medium and high doses of SB tended to refuse to eat the high energy mix, suggesting palatability problem for doses higher of 5.5 g/Kg of DM of feed. Sodium butyrate tended to increase milk lactose concentration compared with control (SB0), but lactose yield was similar among treatments. Milk fat and protein composition were similar among treatments, and no changes were observed on body condition score, β -hydroxybutyrate plasma concentration and milk production among treatments. However, body weight gain was lower with higher doses of SB, suggesting that SB induce fat mobilization. Results suggest that SB at doses of 7, 14 and 21 g/goat/day may have not been sufficient to increase milk fat concentration of mid-lactation goats, but higher doses of SB may induce palatability and fat mobilization.

Keywords: Dairy goat; fat milk; sodium butyrate.

Introduction

The Common Agricultural Policy of the European Union promotes profitability, competitiveness, productivity and product quality of farms. Consequently, the dairy goat production is progressively changing from a grazing-extensive to an indoor-intensive system (Castel *et al.*, 2011). In intensive systems, the optimization of nutritional management can lead to a reduction of production costs and an increase in productivity. The diet should be adapted to the nutritional requirements and physiological state of the goat, to ensure a good health and the expression of the full productive potential. Therefore, the diet during lactation should contain high proportion of fermentable starch to assure availability of glucose precursors. When glucose availability is reduced, milk production and milk lactose and protein concentrations decrease (Morand-Fehr and Sauvant, 1980; Bell and Bauman, 1997). On the other hand, increased starch intake depresses milk fat percentage (Chilliard *et al.*, 2003; Morand-Fehr, 2007). Butyrate is a short-chain fatty acid produced in the rumen by microbial fermentation. In the rumen wall, 78 to 94 % of butyrate is estimated to be converted to β -hydroxybutyrate, (Leng and West, 1969), and β -hydroxybutyrate contributes to 4-9 % of fatty acids synthesis of milk (Smith *et al.*, 1974). Therefore, a supplementation of milk fat precursor, such as butyrate, could increase milk fat concentration. In fact, butyrate infused in the rumen of cows in mid-lactation was shown to increase milk fat concentration (Huhtanen *et al.*, 1993; Miettinen and Huhtanen, 1996; Huhtanen *et al.*, 1998). Butyrate is commercially available as salts, such sodium butyrate (SB). The advantage of salts over free acids is that they are generally odourless and easier to handle in the feed manufacturing process owing to their solid and less volatile form (Guilloteau *et al.*, 2010). Therefore, the aim of this experiment was to determine the effect of the supplementation of sodium butyrate at different doses in the diet on milk fat concentration of mid-lactation dairy goats.

Material and methods

Experimental and animal care procedures were approved by the Ethical Committee on Human and Animal Experimentation of the Universitat Autònoma of Barcelona, Spain (CEEAH 951). Twenty Murciano-Granadina goats (milk purpose) in mid-lactation (107 ± 5 days in milk) were randomly allocated to 4 pens (5 goats per pen). Although individual housing would have been preferred to record individual forage DM intake, it was not possible in the facilities of the farm. Each pen measured 3 x 2 m, and was bedded with straw (renewed weekly) and resulted in a space availability of 1.2 m²/goat. Each pen was equipped with a water bowl and a common

2 m long feedbunk. Each pen was assigned to a treatment: 1) SB0, control group, 0 g/goat/day of SB; 2) SB7, 7 g/goat/day of SB (low doses); 3) SB14, 14 g/goat/day of SB (medium doses); 4) SB21, 21 g/goat/day of SB (high doses). Sodium butyrate was provided by Nutega (Nuevas Tecnologías de Gestión Alimentaria, S.L., Madrid, Spain). The experiment lasted 30 days, an adaptation period to pens and treatments of 15 days, and a sampling period of 15 days. Forage was offered in the common feedbunk *ad libitum* twice daily at 10:00 a.m. and 5:00 p.m., and included fescue hay and alfalfa pellets. The amount of fescue hay and alfalfa pellets offered was calculated per pen from previous day intake, allowing a minimum of 15 % refused feed. In order to assure the intake of SB doses, SB was blended with 241 g of DM of high energy mix offered individually to goats in the milking parlour, once a day at 9:00 a.m. At 4:00 p.m. goats received 361 g of DM of concentrate individually. Ingredients and chemical analysis of the diet are presented in Table 1, and ingredients of concentrate and high energy mix are presented in Table 2. The average forage intake was calculated as the difference between the total amount of forage offered and refused from daily feed intake records, over the number of goats in the pen during sampling period. Weekly samples of the diet were collected for each treatment throughout the experiment for analysis. Samples were ground through a 2-mm stainless steel screen and were analyzed for DM by oven drying at 103 °C in a forced-air oven for 24 h (AOAC, 1990; ID 950.01), and for ashes by heating at 550 °C for 4 h (AOAC, 1990; ID 942.05). Protein content was determined by the Kjeldahl procedure ($N \times 6.25$; AOAC, 1990; ID 976.05), using a Kjeltec Auto 1030 Analyzer (Foss España S.A., Barcelona, Spain). Ash corrected NDF and ADF was determined for forages and crude fiber for the high energy mix and concentrate (Van Soest *et al.*, 1991), using α -amylase and sodium sulphite (Ankom 200 Fiber Analyzer; Ankom Technology Corporation, Gomensoro Instrumentación Científica, Spain). Individual body weight (BW) and body condition scores (BCS) were recorded at the beginning and at the end of the sampling period. Body weight gain was calculated individually as the difference between weight records. Goats were milked once a day at 9:00 a.m. Before the adaptation period, individual milk production and composition was recorded for covariate adjustment. Twice a week during the sampling period, individual milk production was measured, and 50 ml individual milk samples were collected in a plastic vial, preserved with an antimicrobial tablet (Bronopol, Broad Spectrum Microtabs II, D&F Control Systems Inc., San Ramon, CA), and stored at 4 °C until analysis. Percentage of milk fat, protein and lactose, and somatic cell count were determined in Allic laboratories (Cabriils, Barcelona, Spain) using infrared spectroscopy (MilkoScan 4000 + Fossomatic 5000, Foss Electric, Hillerød, Denmark). Milk yields of fat, protein and lactose were calculated by multiplying Kg of milk production and respective

percentages of each sample. Body condition score (BCS) were recorded according to Russell *et al.* (1969) on a scale of 1 to 5 to the nearest 0.25. Blood samples were collected at 8 a.m. before the adaptation period for covariate adjustment, and at the beginning and at the end of sampling period from the jugular vein to measure plasma levels of β -hydroxybutyrate. One blood sample (5 ml) was harvested without additives (BD Vacutainer, Franklin Lakes, NJ). Blood samples were centrifuged at 1,400 x g for 15 minutes at 15 °C to obtain serum, and frozen at -20 °C until analysis. β -hydroxybutyrate was determined with Olympus AU400 analyzer (series 3112676, Germany), using RANBUT D-3-Hydroxybutyrate reactive (Randox®, United kingdom), through the kinetic enzymatic method (McMurray *et al.*, 1984).

The experimental design was a completely randomized model, and the experimental unit was the goat. The model included treatment as fixed effect and the goat as random effect. Days of sampling were the repeated measurement. Covariates were: 1) milk production before the adaptation period for milk production analysis; 2) β -hydroxybutyrate before the adaptation period for β -hydroxybutyrate analysis; 3) somatic cell count before the adaptation period for somatic cell count analysis; 4) milk fat, protein and lactose concentration before the adaptation period for milk fat, protein and lactose concentration analysis, respectively, and 5) milk fat, protein and lactose yield before the adaptation period for milk fat, protein and lactose yield analysis, respectively. Statistical differences among treatment means were determined using the PROC MIXED of SAS 9.2. (Version 9.2., SAS, Inst. Inc., Cary, NC), except for somatic cell count that was determined using Proc GLIMMIX of SAS 9.2. Linear and quadratic effects were tested using the CONTRAST option. Differences among treatments were declared at $P < 0.05$ and tendencies were discussed at $P < 0.10$. As experimental unit of forage intake was the pen ($n = 1$), average forage DM intake is reported.

Results

Goats were healthy during the experiment and results are presented in Table 3. All goats gained weight during the sampling period, but with higher doses of SB the body weight gain tended to be lower. Body condition score (average of 2.91) and milk production (average of 1610 mL/goat/day) were similar among treatments. There were no difference on milk fat concentration (4.80 %), milk fat yield (79.50 g/Kg of milk), protein concentration (3.84 %) and protein yield (62.3 g/Kg of milk) due to treatments. Milk lactose concentration had a trend to a quadratic effect being higher as the dose of SB increased, but lactose yield was similar among

treatments (75.2 g/Kg of milk). There was no difference on somatic cell count (average of 2,467,000/mL) among treatments. No changes were observed on β -hydroxybutyrate plasma concentration due to treatments (average of 0.32 mmol/L).

Discussion

Goats fed SB tended to have lower milk fat yield, which may be attributed to the numerically lower forage intake, compared with control (SB0). In fact, the fermentation of forage leads to acetate production that contributes to 42 % of milk fat synthesis (Smith *et al.*, 1974). Sodium butyrate tended to increase milk lactose concentration compared with control (SB0), but lactose yield was similar among treatments. Studies in dairy cows intraruminally infused with butyrate reported an increase of milk fat yield (Huhtanen *et al.*, 1993; Miettinen and Huhtanen, 1996; Huhtanen *et al.*, 1998). In addition to higher level of milk fat, cows in the experiments of Huhtanen *et al.* (1993), Miettinen and Huhtanen, (1996) and Huhtanen *et al.* (1998) had a reduced milk lactose concentration, increased plasma β -hydroxybutyrate concentration, and decrease or no change in milk production. Such results may be attributed to the negative energy balance of cows, induced by treatment, which mainly consisted in replacing propionate by butyrate infusions (Huhtanen *et al.*, 1993; Miettinen and Huhtanen, 1996; Huhtanen *et al.*, 1998). Accordingly, several studies reported that such results on these measurements are compatible with ketotic cows (Amaral-Phillips *et al.*, 1993; Gaynor *et al.*, 1995). Therefore, the increase of milk fat concentration in these cows originated from the complex metabolic mechanisms of the negative energy balance. During mid-lactation, goats are expected to be in positive energy balance (Chilliard *et al.*, 2003). Accordingly, during the experiment, all goats were in positive energy balance, because β -hydroxybutyrate plasma concentration was low, body weight gain was positive, and body condition score was high. The trend to have lower body weight gain in goats fed SB21 compared with control is unlikely attributable to the numerically higher dry matter forage intake of SB0 compared with goats fed SB. In fact, this difference on DMI represents only 5 % (78 g) of daily forage intake per goat. This slow body weight gain with no response on the other measurements suggests that SB reduces fat deposition with no improvement in production.

The proportion of SB represented a 2.8, 5.5 and 8.0 g of butyrate/Kg of DM of the high energy mix for SB7, SB14 and SB21, respectively. Goats quickly adapted to it, except for one animal in SB14 and one in SB21 treatment, who refused about a 20 % of the DM offered during

CAPÍTULO 4

the sampling period, suggesting a palatability problem at medium and high doses, but not at low doses. Doses of SB of 3 g of SB/Kg of DM increased feed intake in growing cattle, suggesting a palatability improvement (Górka *et al.*, 2011). Therefore, butyrate doses equal to or greater than 5.5 g/Kg of DM of feed may induce palatability problem.

Conclusions

Sodium butyrate may produce palatability problem when mixed at proportion equal to or greater than 5.5 g/Kg of DM of feed. The supplementation of SB at doses of 7, 14 and 21 g/goat/day had no effects on body weight, body condition score, milk production and composition, and β -Hydroxybutyrate plasma concentration, and at higher doses tended to reduce body weight gain compared with control, suggesting a reduction of fat reserves in mid-lactation. Sodium butyrate at doses of 7, 14 and 21 g/goat/day may have not been sufficient to increase milk fat concentration of mid-lactation goats, but higher doses of SB may reduce palatability and fat deposition.

Acknowledgements

The authors thank Nutega for their financial support. The authors also appreciate the assistance of R. Costa and the crew of the “Servei de Granges i Camps Experimentals” (SGCE) of the Universitat Autònoma de Barcelona for technical support and advising, the intermediation of “Animal Nutrition and Welfare Service” (SNIBA), and NUTEGA for funding the experiment.

References

- Amaral-Phillips, D.M., McGilliard, A.D., Lindberg, G.L., Veenhuizen, J.J., Young, J.W., 1993. Effects of decreased availability of glucose for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 752–761.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Bell, A.W., Bauman, D.E., 1997. Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia.* 2, 265–278.

- Castel, J.M., Mena, Y., Ruiz, F.A., Camúñez-Ruiz, J., Sánchez-Rodríguez, M., 2011. Changes occurring in dairy goat production systems in less favoured areas of Spain. *Small Rumin. Res.* 96, 83–92.
- Chilliard, Y., Delouis, C., Smith, M.C., Sauvant, D., Morand-Fehr, P., 1986. Mammary metabolism in the goat during normal or hormonally-induced lactation. *Reprod. Nutr. Dev.* 26, 607–615.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberet, G., 2003. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *J. Dairy Sci.* 86, 1751–1770.
- Gaynor, P.J., Waldo, D.R., Capuco, A.V., Erdman, R.A., Douglass, L.W., Teter, B.B., 1995. Milk fat depression, the glucogenic theory, and Trans-C18:1 fatty acids. *J. Dairy Sci.* 78, 2008–2015.
- Górka, P., Kowalski, Z.M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Holst, J.J., Guilloteau, P., Zabielski, R., 2011. Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. *J. Dairy Sci.* 94, 5578–5588.
- Guilloteau, P., Martin, L., Eeckhaut, V., Ducatelle, R., Zabielski, R., Van Immerseel, F., 2010. From the gut to the peripheral tissues: the multiple effects of butyrate. *Nutr. Res. Rev.* 23, 366–384.
- Huhtanen, P., Miettinen, H., Ylinen, M., 1993. Effect of increasing ruminal butyrate on milk yield and blood constituents in dairy cows fed a grass silage-based diet. *J. Dairy Sci.* 76, 1114–1124.
- Huhtanen, P.J., Blauwiekel, R., Saastamoinen, I., 1998. Effects of intraruminal infusions of propionate and butyrate with two different protein supplements on milk production and blood metabolites in dairy cows receiving grass silage-based diet. *J. Sci. Food Agric.* 77, 213–222.
- Leng, R.A., West, C.E., 1969. Contribution of acetate, butyrate, palmitate, stearate and oleate to ketone body synthesis in sheep. *Res. Vet. Sci.* 10, 57–63.
- McMurray, C.H., Blanchflower, W.J., Rice, D.A., 1984. Automated kinetic method for D-3-hydroxybutyrate in plasma or serum. *Clin. Chem.* 30, 421–425.

CAPÍTULO 4

Miettinen, H., Huhtanen, P., 1996. Effects of the ratio of ruminal propionate to butyrate on milk yield and blood metabolites in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 79, 851–861.

Morand-Fehr, P., Fedele, V., Decandia, M., Le Frileux, Y., 2007. Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68, 20–34.

Morand-Fehr, P., Sauvant, D., 1980. Composition and yield of goat milk as affected by nutritional manipulation. *J. Dairy Sci.* 63, 1671–1680.

Russell, A.J.F., Doney, J.M., Gunn, R.G., 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci.* 72, 451–454.

Smith, G.H., McCarthy, S., Rook, J.A.F., 1974. Synthesis of milk fat from β -hydroxybutyrate and acetate in lactating goats. *J. Dairy Res.* 41, 175–191.

Table 1. Ingredients and chemical analysis of the diet.

	Treatments ¹			
	SB0	SB7	SB14	SB21
Ingredients of the diet (%)				
Fescue hay	31.6	31.1	31.2	31.0
Alfalfa pellets	10.5	10.4	10.4	10.3
Concentrate	9.4	10.1	9.8	10.0
High energy mix	6.3	6.9	6.9	7.3
Chemical analysis of the diet ²				
DM (%)	89.8	89.8	89.7	89.7
CP (% DM)	14.3	14.2	14.4	14.1
NDF (% DM)	40.5	39.5	39.7	39.3
ADF (% DM)	23.1	22.5	22.7	22.4
Ashes (% DM)	10.0	10.2	10.5	10.5

¹ SB0: diet with 0 g/goat/day of sodium butyrate; SB7: diet with 7 g/goat/day of sodium butyrate; SB14: diet with 14 g/goat/day of sodium butyrate; SB21: diet with 21 g/goat/day of sodium butyrate.

² DM: dry matter; CP: crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber.

Table 2. Ingredients of the concentrate and the high energy mix.

Ingredients of the concentrate (% of DM)	
Barley	21.4
Soybean hulls	21.4
Sunflower meal	21.4
Beet pulp	31.8
Sunflower oil	3.0
Sodium bicarbonate	0.2
Sodium chloride	0.5
Premix ¹	0.3
Ingredients of high energy mix (% of DM)	
Concentrate	74.7
Soybean	18.7
Sugar cane molasses	6.6

¹Sodium citrate (4 g/100g); Magnesium sulphate (0.8 g/100g); Calcium gluconate (4.3 g/100g); Vitamin A (50,000 U.I./100g).

Table 3. Effect of treatments on measurements during sampling period.

	Treatments ¹				SE ²	P-value	
	SB0	SB7	SB14	SB21		Linear	Quadratic
Forage intake (Kg of DM/goat/day)	1.61	1.49	1.49	1.53	0.026	–	–
Body weight (Kg)	44.0	42.6	44.3	44.3	1.57	0.569	0.516
Body weight gain (Kg/goat)	7.92	6.48	7.38	5.86	0.530	0.073	0.941
Body condition score	2.87	2.95	2.92	2.90	0.100	0.700	1.000
Milk production (mL/goat/day)	1653	1606	1563	1617	68.0	0.847	0.561
Milk composition							
Fat (%)	4.98	4.76	4.70	4.82	0.216	0.653	0.625
Protein (%)	3.84	3.88	3.92	3.71	0.086	0.668	0.633
Lactose (%)	4.51	4.54	4.55	4.60	0.028	0.298	0.092
Somatic cell count (x1000/mL)	2295	2318	2968	2286	855.8	0.851	0.771
Fat yield (g/Kg of milk)	85.7	76.7	76.1	79.5	3.65	0.224	0.361
Protein yield (g/Kg of milk)	63.4	62.0	63.7	60.1	3.04	0.517	0.783
Lactose yield (g/Kg of milk)	76.9	74.6	72.9	76.5	3.21	0.928	0.738
β-Hydroxybutyrate (mmol/L)	0.31	0.30	0.32	0.34	0.019	0.834	0.247

¹ SB0: diet with 0 g/goat/day of sodium butyrate; SB7: diet with 7 g/goat/day of sodium butyrate; SB14: diet with 14 g/goat/day of sodium butyrate; SB21: diet with 21 g/goat/day of sodium butyrate.

² Standard error of the means.

CAPÍTULO 5

Effect of sodium butyrate

on rumen development and performance of lambs

in intensive production system

during the suckling and the fattening periods

Effect of sodium butyrate on rumen development and performance of lambs in intensive production system during the suckling and the fattening periods

Abstract

Sodium butyrate (SB) has been shown to improve growth rate, rumen development and health of calves. In intensive lamb production systems, the fattening period starts after a relative short suckling period, and lambs are fed a high concentrate diet. The objective of this experiment was to determine the effect of supplementing SB in the concentrate on rumen development and performance of lambs during the suckling and the fattening periods. During suckling, 66 lambs were distributed with their mothers in 4 pens, 2 per treatment. Treatments were: control concentrate (CON), and concentrate supplemented with 2.4 g of SB/Kg of DM (SBC). At weaning, 9 lambs were slaughtered for sample collection. To evaluate the effect of SB during the fattening period, 47 lambs were used and distributed into 12 pens. Treatments were: 1) CON-CON for lambs fed CON in both periods; 2) CON-SBC for lambs fed CON in the suckling and SBC in the fattening period; 3) SBC-CON for lambs fed SBC in the suckling and CON in the fattening period, and 4) SBC-SBC for lambs fed SBC in both periods. At 92 days of age all lambs were slaughtered. In both periods, concentrate dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), body weight (BW), hot carcass weight (HCW), dressing percentage (DP), reticulum-rumen weight (RRW), rumen fluid pH, and density, length, width and keratinization of rumen papillae were measured. Feed conversion ratio (FCR) was calculated for the fattening period. During the suckling period, SBC lambs had higher DMI, ADG, HCW and DP ($P < 0.05$), and tended to have higher rumen papillae length and lower RRW ($P < 0.10$). During the fattening period, no difference was found among treatments. Results indicate that the supplementation of SB in the concentrate at doses proposed and in the current conditions improved rumen development and performance of lambs during the suckling period. However, during the fattening period SB did not improve performance in lambs reared in an intensive production system.

Keywords: lamb; performance; rumen development; sodium butyrate.

Introduction

In intensive production systems, independently of the length of time of the suckling period, lambs are fed high concentrate diets from two weeks of age until slaughter weight to assure fast growth and high productivity. The adaptation to a high energy diet is critical and can lead to health problem such inadequate rumen development, acidosis and slow growth (Owens *et al.*, 1998). Early solid feed intake promotes rumen development (Stobo *et al.*, 1966). Butyrate is a short chain fatty acid produced from the fermentation of concentrate, and it had been shown to stimulate rumen papillae development (Sander *et al.*, 1959). Supplementation of SB in milk replacer during the first 4 weeks of life improved rumen papillae development, performance and health status in calves (Guilloteau *et al.*, 2004; Górká *et al.*, 2009). In addition, calves fed milk replacer supplemented with SB improved pancreatic functionality and the digestibility of most nutrients of the diet (Guilloteau *et al.*, 2010a). Guilloteau *et al.* (2009) observed that when SB was administered during the first month of life, positive effects on growth occurred within the first 3 months of life, and after then, they decreased until they equated the effects of the control group. When SB was offered to calves blended with the starter diet at doses of 3 g/100 g of dry matter (DM) as soon as calves began to consume concentrate, the effects on growth were positive but not significant (Górká *et al.*, 2011a). When SB was offered after weaning, beneficial effects were observed on pancreatic functionality and nutrient digestibility (Guilloteau *et al.*, 2010a). However, there is no information on the effects of SB on performance of ruminant after weaning. Positive but weak effects have been observed in weaned piglets (Manzanilla *et al.*, 2006; Le Gall *et al.*, 2009). Therefore, the purpose of this experiment was to determine the effects of SB offered in the concentrate at doses of 2.4 g of SB/Kg of DM before weaning, after weaning, and before and after weaning, on productive performance and rumen development of lambs in an intensive production system.

Material and methods

The experiment was carried out in the facilities of the Servei de Granges i Camps Experimentals of the Universitat Autònoma de Barcelona, Spain. Experimental and animal care procedures were approved by the Ethical Committee on Human and Animal Experimentation of the Universitat Autònoma de Barcelona (CEEAH 1567). The experiment was divided in two periods: suckling and fattening. . In order to approach a very field condition, the experimental

CAPÍTULO 5

length coincided with the usual suckling and fattening periods of the farm. Finally, the beginning and the end of each period depended on the management of the farm and the availability of the abattoir.

Animals, treatments and management during the suckling period

A total of 66 suckling lambs of Ripollesa breed (meat purpose) were used. Lambs were distributed in 4 pens at 18 ± 2 days of age. Pens 1 and 2 consisted of 21 lambs each one (10 males and 11 females) and pens 3 and 4 consisted of 12 lambs each one (7 males and 5 females for pen 3, and 6 males and 6 females for pen 4). Treatments were: CON (concentrate without SB) for pens 2 and 4, and SBC (2.4 g of SB included in 1 kg of DM of concentrate) for pens 1 and 3. Sodium butyrate was provided by Nutega (Nuevas Tecnologías de Gestión Alimentaria, S.L., Madrid, Spain) that calculated the doses on the basis of 4 Kg of commercial product in 1 t of fresh matter of feed. In pens 1 and 2, four lambs died for reasons not related to the experimental treatments, and at the end of suckling period pens 1 and 2 were composed of 19 lambs (9 males and 10 females) each one. In order to achieve homogeneous groups, only one lamb from double or triple births was chosen to be included in the experiment. Dismissed lambs suckled colostrum from the ewe for 3 days, thereafter were removed and fed milk replacer. The criteria used to select the lamb were the acceptance of the lamb by the mother, birth weight and sex. The same criteria were used to set homogeneous pens, including the type of parturition (single or multiple). Lambs always remained with their mother, suckled milk and had free access to a fattening concentrate feed (Table 1) that was offered into a feeder (1 per pen) equipped with a special grid to prevent ewe's consumption. At weaning (56 ± 4 days), 9 lambs were slaughtered in a commercial abattoir for sample collection: 5 lambs from treatment CON (3 males and 2 females), and 4 lambs from treatment SBC (3 males and 1 female).

Animals, treatments and management during the fattening period

Because 9 lambs were slaughtered for sampling at the end of suckling period, 4 died, and 6 lambs were selected for replacement of the farm, a total of 47 lambs from the suckling period were used in the fattening period. At weaning, a simulation of transport of lambs from the suckling farm to a fattening farm was carried out. Animals were loaded on a trailer, and transported for an hour. At arrival, lambs were allocated into 12 pens and assigned to treatments: 1) CON-CON for lambs that were fed the control concentrate during the suckling and the fattening period; 2) CON-SBC for lambs that were fed the control concentrate during

the suckling period and the SBC concentrate during the fattening period; 3) SBC-CON for lambs that were fed the SBC concentrate during the suckling period and the control concentrate during the fattening period; 4) SBC-SBC for lambs that were fed the SBC concentrate during the suckling and the fattening periods. Therefore, 3 replications per treatment were obtained. Each pen had 4 lambs, 2 males and 2 females, except for one pen which was made up of 3 lambs, 1 male and 2 females. A female lamb in one pen died for reasons not related to experimental treatments. Lambs in the fattening period were fed the same concentrate and SB was applied at the same doses as in the suckling period. Lambs had free access to barley straw, concentrate and water. Lambs were kept in straw bedded pens equipped with a feeder for concentrate, a rack for straw and a bucket for water. Buckets were filled with clean water every morning. All fattened lambs were slaughtered in a commercial abattoir at 92 ± 0.86 days of age, depending on the availability of the abattoir.

Measurements and sample collection during the suckling and the fattening periods

The concentrate was distributed weekly. The amount of feed offered was calculated from intake observed the previous week, allowing a minimum of 15 % refused feed. Concentrate refused within pen was removed and weighed weekly. The average daily dry matter intake (DMI) of concentrate by lamb and pen was calculated as the difference between the total amount of concentrate offered and refused, over the seven days of the week and the number of lambs in the pen. Individual concentrate consumption measurements should be preferred to cope with scientific rigour, but refused because of the non-availability of the appropriate facilities and in order to maintain a gregarious field condition. Compulsorily, the concentrate intake was individually expressed instead of by pen because the number of lambs changed depending on the pen. Samples of feed offered were collected weekly to determine the chemical composition. Feed samples were ground through a 2-mm stainless steel screen before chemical analysis. Samples were analyzed for DM by oven drying at 103 °C in a forced-air oven for 24 h (AOAC, 1990; ID 950.01), and ashes by heating at 550 °C for 4 h (AOAC, 1990; ID 942.05). Protein content was analyzed by the Kjeldahl procedure ($N \times 6.25$; AOAC, 1990; ID 976.05), using a Kjeltex Auto 1030 Analyzer (Foss España S.A., Barcelona, Spain). Ash corrected NDF and ADF were determined by the method of Van Soest *et al.* (1991) using a thermostable amylase and sodium sulphite (Ankom 200 Fiber Analyzer; Ankom Technology Corporation, Gomensoro Instrumentación Científica, Spain). Ether extract was determined (AOAC, 2006, 2003.05 and 2003.06 procedures), using the semi-automatic 2055 Soxtec system (Foss, Barcelone, Spain). Lambs were individually weighed weekly (0.02 Kg of accuracy). Average

daily gain (ADG) was obtained weekly, by calculating the difference between body weight (BW) of a week and BW of precedent week, over the seven days of the week for each lamb. At slaughter, hot carcass weight (HCW) was recorded. Dressing percentage was calculated by dividing HCW by BW at weaning for the suckling period or by final BW for the fattening period, and expressed as a percentage. Feed conversion ratio (FCR) was calculated by dividing concentrate DMI of the pen during all fattening period by body mass gained during the fattening period by all lambs in the pen. Immediately after slaughtering, rumen contents were strained through two layers of cheesecloth. Rumen fluid pH was measured immediately after collection using a portable pH-meter (model 507, Crison, Alella, Spain), equipped with an immersible probe (Cat. 52-32, Crison Instruments, S.A. Alella, Spain). Before recording, the pH-meter was calibrated using pH 4.0 and pH 7.0 standard buffers. The reticulum-rumen was dissected from the digestive tract, emptied of content, washed, dried with paper and weighed. Samples of around 4 cm² from the ventral sac of rumen were cut off and fixed in a solution containing formaldehyde (10 %). The number of papillae was counted in a square section of 1 cm² of fixed rumen wall. Serial sections of rumen were embedded in paraffin, cut at a 4- μ m thickness, stained with hematoxylin and eosin and mounted for histological analysis (Gartner and Hiatt, 2007). Length, width and keratinization (scale of 1 to 5) of approximately 20 papillae per animal, and the muscular layer thickness were measured at 30 \times magnification, using an Olympus SZH stereomicroscope (OLYMPUS-Central, Barcelone, Spain).

Statistical analysis for the suckling and the fattening periods

Suckling and fattening periods were analyzed separately. Data of dead lambs were excluded from the analysis. The experimental design was a completely randomized model. For the suckling period, data from the beginning of exposure to treatment (18 ± 2 days of life) to weaning (56 ± 4 days of life) were analyzed. The experimental unit was the pen for concentrate DMI and FCR, and the lamb nested into the pen for the remaining measurements. Models included the fixed effects of treatment, sex, and treatment by sex interaction. Treatment by sex interaction was excluded from HCW, dressing percentage, reticulum-rumen weight, rumen fluid pH, rumen muscular layer, and rumen papillae measurements analysis of the suckling period, because of limited number of slaughtered female for each treatment. The week was the repeated measure effect for DMI and ADG analysis. Random effect was the pen for DMI and for FCR, and lamb nested into the pen for the remaining variables. Covariates included in the analysis were: 1) the body weight at 18 ± 2 days of life for ADG and for BW at weaning analysis of the suckling period; 2) the body weight at weaning for ADG and for final BW

analysis of the fattening period, and 3) the last BW measurement for HCW analysis and for reticulum-rumen weight. Variables were analyzed using a variance or variance-covariance model by PROC MIXED of SAS 9.2. (Version 9.2., SAS, Inst. Inc., Cary, NC). Comparison of means was adjusted by the Tukey's test. Differences among treatments were declared at $P < 0.05$ and tendencies discussed at $P < 0.10$.

Results

The suckling period

Concentrate DMI and ADG were higher for SBC compared with CON ($P < 0.05$), and BW at weaning was similar between treatments (Table 2). Lambs of SBC had higher HCW and dressing percentage ($P < 0.05$) compared with CON lambs. Reticulum-rumen weight tended ($P = 0.088$) to be higher for CON lambs compared with SBC lambs. No difference between treatments was observed on rumen fluid pH, rumen muscular layer thickness, and on density, width and keratinization of rumen papillae. Length of rumen papillae ($P = 0.072$) tended to be higher for SBC compared with CON. Males had higher ADG ($P < 0.05$), tended to have higher BW at weaning ($P = 0.065$) compared with females, but females had higher rumen papillae length ($P < 0.05$) compared with males (Table 3). There were no treatment by sex interactions on ADG and BW at weaning (data not shown).

The fattening period

There were no differences due to treatments on DMI, ADG and final BW (Table 4). Males had higher ADG and final BW ($P = 0.001$) compared with females (Table 5), but females had higher HCW compared with males ($P = 0.001$). There were no differences due to treatment for dressing percentage, reticulum-rumen weight, rumen fluid pH, rumen muscular layer thickness and rumen papillae measurements (Table 4). There were no treatment by sex interactions on measurements (data not shown).

Discussion

The suckling period

The financing company decided the doses used that was lower compared with the doses used in calves in previous experiments (Górka *et al.*, 2011a; Górka *et al.*, 2009). The only one level of doses and the group intake, which depended on the availability of facilities, limited the power of the experimental design. In spite of this, both the doses and group intake could provide important information, as long as it is taken in consideration weighting all outcomes. Sodium butyrate had been shown to be a successful growth promoter in calves milk replacer (Guilloteau *et al.*, 2009). The main difference between calf and lamb intensive rearing is that calves are separated from their mother at birth and are fed milk-replacer, while lambs usually remain with their mother and suck maternal milk until weaning. Therefore, SB had to be administrated in the concentrate. The supplementation of SB promoted concentrate intake as expected, because starter diet intake increased by more than 30 %, when butyrate was mixed with the starter diet of calves (Górka *et al.*, 2011a). Moreover, there is evidence that butyrate increases feed palatability. Using the double choice test, sheep preferred wheat hay treated with aqueous solution of butyric acid compared with non treated wheat hay (Gherardi and Black, 1991).

Lambs supplied with SB tended to have larger rumen papillae, and its density was 28 % numerically higher compared with control lambs. Therefore, the addition of SB to the concentrate appeared to promote the rumen papillae development of lambs. Butyrate has been previously reported to stimulate the rumen epithelia growth when mixed with a starter diet (Górka *et al.*, 2009; Górka *et al.*, 2011a). This positive effect may be due to the direct action of butyrate on rumen epithelia cells proliferation (Lane and Jesse, 1997; Mentschel *et al.*, 2001), and to the increased concentrate intake of SBC. In fact, increasing the amount of concentrate promotes rumen mucosa development of newborn ruminant (Stobo *et al.*, 1966; Rickard and Ternouth, 1965). However, the reticulum-rumen weight was higher for CON compared with SBC, which was unexpected. Previously, Górka *et al.* (2009 and 2011a) reported an increase in the reticulum-rumen weight in calves supplied with SB compared with control. In fact, the increase of reticulum-rumen mass is due to an increase of both reticulum-rumen weight and reticulum-rumen muscular development (Baldwin, 2004). This process is produced by the physical stimulation of the feed (Tamate *et al.*, 1962). During the suckling period, lambs were observed to consume their mothers' forage and straw (which they had free access to),

that could affect reticulum-rumen mass development. The current experiment was conducted in actual commercial conditions, and it was not possible to measure straw intake. In spite of this, results made clear that SB enhanced both rumen mucosa development and performance. Indeed, although BW at weaning was similar in both treatments, lambs supplied with SB had higher ADG compared with control lambs. Increased of BW gain was observed in calves, when butyrate was added to milk replacer, and to milk-replacer and starter diet (Guilloteau *et al.*, 2009; Górká *et al.*, 2011a and 2011b; Nazari *et al.*, 2012). At weaning, slaughtered lambs of treatment SBC had higher HCW and dressing percentage compared with control lambs. Similarly, Guilloteau *et al.* (2004) found higher carcass weights of calves when SB was used as additive in milk-replacer, compared with a growth promoter antibiotic. Both literature and the results of the current experiment suggests that butyrate could have increase the productive performance of pre-ruminant by 1) promoting rumen papillae development, that suggests a greater nutrient absorption; 2) increasing concentrate intake, that suggests an improvement of nutrient availability; 3) reducing incidences of diarrhea and use of electrolyte therapy (Hill *et al.*, 2007; Górká *et al.*, 2009 and 2011a) and increasing neutralizing titers against parainfluenza and bovine viral diarrhea (Hill *et al.*, 2011), that suggest an improvement of the immune response, and subsequently 4) increasing glucose plasma concentration (Górká *et al.*, 2011a; Nazari *et al.*, 2012), that suggests an improvement of energy metabolism. It is important to highlight that the doses of SB tested in previous experiments in calves were equal or higher than 3 g/Kg de DM. The results of the current experiment suggest that even at lower doses SB is able to trigger generalized positive effects in lamb.

Body weight at weaning tended to be greater for males than for females as expected, and females had larger rumen papillae. The lack of interaction of treatment by sex on ADG and BW at weaning suggests that the effect of SB on growth was similar in both sexes.

The fattening period

In general SBC-SBC lambs showed a numerically improved growth compared with the other treatments, and probably increasing the number of lambs in the experiment would show some statistical trends. Lambs of CON-SBC treatment had no difference on rumen development measurements and performance compared with CON-CON lambs. Guilloteau *et al.* (2010a) reported that calves of 4 months of age, fed milk replacer plus SB during the suckling period, had increased pancreatic juice production compared with calves fed milk replacer plus growth promoter antibiotic during the suckling period. There are no studies on

the effect of butyrate on rumen development and production when offered after weaning in ruminants. Manzanilla *et al.* (2006) observed that SB fed to piglets after weaning improved FCR and intestinal villous development, and reduced the digestibility of the diet, with no effect on weight gain. Le Gall *et al.* (2009) reported that SB supplied to piglets after weaning decreased digestibility of the diet, but, in contrast to results of Manzanilla *et al.* (2006), SB improved weight gain and had no effect on intestinal villous height and crypt depth, compared with control piglets. Guilloteau *et al.* (2009 and 2010b) suggested that the optimal timing to feed butyrate to a ruminant is immediately after birth, when rumen digestive tract undergoes greater development, and it's more receptive to growth promoter effects. Results of the current experiment indicate that the inclusion of SB to the concentrate after weaning has no effect in growing lambs, because of no effect on rumen development, nor in performance.

Lambs fed the SBC-CON had similar rumen development and productive performance at 3 months of age, compared with CON-CON lambs. In contrast, Guilloteau *et al.* (2004 and 2009) found that when SB was fed in the milk-replacer during the first month of life, growth and intestinal mucosa development persisted during the first 4 months of life and, then, they decreased to equate the control group. The lack of positive effects due to SB supplementation for SBC-CON lambs compared with CON-CON lambs may be attributed to the method of feeding of SB. Górká *et al.* (2011a) fed butyrate mixed with the milk-replacer, or with the starter diet, or in both at the same time, to pre-weaning calves. Rumen development, health status and growth were improved when compared with control calves that received no additive. Generally, the response was stronger in calves fed butyrate in the milk-replacer and in the starter diet at the same time, intermediate in calves fed butyrate in the milk-replacer, and lower in calves fed butyrate in the starter diet. When administrated with milk-replacer, butyrate reaches the intestine where triggers two important processes: 1) promotes intestinal mucosa development and digestibility (Guilloteau *et al.*, 2009; Guilloteau *et al.*, 2010a); 2) activates an endocrine response mediated by insulin (Gálfi and Neogrady, 1989) and others factors such IGF-1 and GLP-1 (Baldwin, 1999), that stimulates rumen development. Moreover, SB administrated with the milk-replacer instead of the starter diet has the advantage of being ingested immediately after birth, as recommended by Guilloteau *et al.* (2009). Taking all together, this pool of information suggests that when SB is mixed with concentrate instead of milk-replacer, the response on rumen development and productive performance is not strong enough to induce long term positive effects in 3 month old lambs.

No difference was observed for SBC-SBC lambs, compared with CON-CON, SBC-CON and CON-SBC lambs. The effect of continuous feeding of SB from birth to the age of 3 month

on rumen development and performance has been studied in piglet, but not in ruminants. Le Gall *et al.* (2009) offered SB to piglets before weaning, after weaning, and before and after weaning, and observed results similar to ours. When SB was offered before and after weaning, growth and intestinal mucosa development were only numerically improved. Such results suggest that untreated lambs underwent a compensatory growth during the fattening period.

Final BW and ADG were higher for males than for females, and females had higher HCW compared with males, as expected. The lack of significance of treatment by sex interaction suggests that the effects of SB are similar in both sexes.

Conclusions

The supplementation of sodium butyrate at doses of 2.4 g of SB/Kg of DM in the concentrate during the suckling period tended to improve rumen papillae length, and increased concentrate intake, average daily gain, hot carcass weight and dressing percentage of lambs in an intensive production system. The administration of SB at doses of 2.4 g of SB/Kg of DM of concentrate before, after, and before and after weaning had no effect on rumen development and performance of 3 months old lambs. These results suggest that sodium butyrate mixed with the concentrate is an effective growth promoter for lambs during the suckling period. However, these positive effects disappeared at 3 month of age, as long as metabolism turns from newborn to adult.

Acknowledgements

The authors appreciate the assistance of R. Costa and the crew of the “Servei de Granges I Camps Experimentals” (SGCE) of the Universitat Autònoma de Barcelona for technical support and advising, the intermediation of “Animal Nutrition and Welfare Service” (SNIBA), NUTEGA for funding the experiment, and the Direction and Veterinary teams of the abattoir of Sabadell (Barcelona, Spain).

References

AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

CAPÍTULO 5

- AOAC, 2006. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Crude fat in Feeds, cereal Grains, and forages Randall / Soxtec / Hexanes Extraction-Submersion Method. First Action 2003, Final Action 2006.
- Baldwin, R.L., 1999. The proliferative actions of insulin, insulin-like growth factor-I, epidermal growth factor, butyrate and propionate on ruminal epithelial cells in vitro. *Small Rumin. Res.* 32, 261–268.
- Baldwin, R.L., 2004. Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and postweaning ruminant. *J. Dairy Sci.* 87, E55–E65.
- Gálfi, P., Neogrády, S., 1989. Epithelial and non-epithelial cell-and tissue culture from the ruminal mucosa. *Asian Austral. J. Anim. Sci.* 2, 143–144.
- Gartner, L.P., Hiatt, J.L., *Color textbook of histology*, 2007. PA Saunders Elsevier, Philadelphia, p. 225.
- Gherardi, S.G., Black, J.L., 1991. Effect of palatability on voluntary feed intake by sheep. I. Identification of chemicals that alter the palatability of a forage. *Austr. J. Agric. Res.* 42, 571–584.
- Górka, P., Kowalski, Z.M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Kiljanczyk, R., Flaga, J., Holst, J.J., Guilloteau, P., Zabielski, R., 2009. Effect of sodium butyrate supplementation in milk replacer and starter diet on rumen development in calves. *J. Physiol. Pharmacol.* 60 (Suppl. 3), 47–53.
- Górka, P., Kowalski, Z.M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Holst, J.J., Guilloteau, P., Zabielski, R., 2011a. Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. *J. Dairy Sci.* 94, 5578–5588.
- Górka, P., Kowalski, Z.M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Zabielski, R., 2011b. Is rumen development in newborn calves affected by different liquid feeds and small intestine development? *J. Dairy Sci.* 94, 3002–3013.
- Guilloteau, P., Rome, V., Le Normand, L., Savary, G., Zabielski, R., 2004. Is Na-butyrate a growth factor in the preruminant calf? Preliminary results. *J. Anim. Feed Sci.* 13, 393–396.

- Guilloteau, P., Zabielski, R., David, J.C., Blum, J.W., Morisset, J.A., Biernat, M., Woliński, J., Laubitz, D., Hamon, Y., 2009. Sodium-butyrate as a growth promoter in milk replacer formula for young calves. *J. Dairy Sci.* 92, 1038–1049.
- Guilloteau, P., Savary, G., Jaguelin-Peyrault, Y., Rome, V., Le Normand, L., Zabielski, R., 2010a. Dietary sodium butyrate supplementation increases digestibility and pancreatic secretion in young milk-fed calves. *J. Dairy Sci.* 93, 5842–5850.
- Guilloteau, P., Martin, L., Eeckhaut, V., Ducatelle, R., Zabielski, R., Van Immerseel, F., 2010b. From the gut to the peripheral tissues: the multiple effects of butyrate. *Nutr. Res. Rev.* 23, 366–384.
- Hill, T.M., Aldrich, J.M., Schlotterbeck, R.L., Bateman, H.G., 2007. Effects of changing the fat and fatty acid composition of milk replacers fed to neonatal calves. *Prof. Anim. Sci.* 23, 135–143.
- Hill, T.M., Bateman II, H.G., Aldrich, J.M., PAS, Schlotterbeck, R.L., 2011. Effect of various fatty acids on dairy calf performance. *Prof. Anim. Sci.* 27, 167–175.
- Lane, M.A., Jesse, B.W., 1997. Effect of volatile fatty acid infusion on development of the rumen epithelium in neonatal sheep. *J. Dairy Sci.* 80, 740–746.
- Le Gall, M., Gallois, M., Sève, B., Louveau, I., Holst, J.J., Oswald, I.P., Lallès, J.P., Guilloteau, P., 2009. Comparative effect of orally administered sodium butyrate before or after weaning on growth and several indices of gastrointestinal biology of piglets. *Br. J. Nutr.* 102, 1285–1296.
- Manzanilla, E.G., Nofrarias, M., Anguita, M., Castillo, M., Perez, J.F., Martin-Orue, S.M., Kamel, C., Gasa, J., 2006. Effects of butyrate, avilamycin, and a plant extract combination on the intestinal equilibrium of early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 84, 2743–2751.
- Mentschel, J., Leiser, R., Mülling, C., Pfarrer, C., Claus, R., 2001. Butyric acid stimulates rumen mucosa development in the calf mainly by a reduction of apoptosis. *Arch. Anim. Nutr.* 55, 85–102.
- Nazari, M., Karkoodi, K., Alizadeh, A., 2012. Performance and physiological responses of milk-fed calves to coated calcium butyrate supplementation. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 42, 296–303.

CAPÍTULO 5

- Owens, F.N., Secrist, D.S., Hill, W.J., Gill, D.R., 1998. Acidosis in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 76, 275–286.
- Rickard, M.D., Ternouth, J.H., 1965. The effect of the increased dietary volatile fatty acids on the morphological and physiological development of lambs with particular reference to the rumen. *J. Agric. Sci.* 65, 371–377.
- Sander, E.G., Warner, R.G., Harrison, H.N., Loosli, J.K., 1959. The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf. *J. Dairy Sci.* 42, 1600–1605.
- Stobo, I.J.F., Roy, J.H.B., Gaston, H.J., 1966. Rumen development in the calf. *Br. J. Nutr.* 20, 189–215.
- Tamate, H., McGilliard, A.D., Jacobson, N.L., Getty, R., 1962. Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach in the calf. *J. Dairy Sci.* 45, 408–420.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.

Table 1. Ingredients and chemical composition of commercial concentrate fed to lambs during the suckling and the fattening periods.

Ingredients composition (%)	
Barley	40.2
Corn	30
Soybean	18.61
Sugar cane molasses	2
Calcium carbonate	1.99
Fat	1
Sodium chloride	0.4
Sodium bicarbonate	0.4
Premix ¹	0.35
Additives	0.05
Chemical composition (% DM)	
DM (%)	90.03
Ashes	5.17
Crude protein	19.49
Crude fiber	5.29
Ether extract	3.19

¹ Vitamin A 10000 UI/Kg. Vitamin D3 1 UI/Kg. Vitamin E (alfa-tocoferol) 17 mg/Kg

Table 2. Effect of treatments during the suckling period.

	Treatment ¹		SE ²	P-value
	CON	SBC		
Concentrate DMI ³ (g/lamb/d)	69.3	101.7	6.25	0.011
ADG ³ (g/lamb/d)	232.0	250.5	5.84	0.050
BW at weaning (Kg)	16.9	17.5	0.33	0.223
HCW ³ (Kg)	8.42	9.23	0.196	0.033
Dressing (%)	49.3	53.8	1.04	0.019
Reticulum-rumen weight (g)	303.4	262.7	12.80	0.088
Rumen fluid pH	6.17	6.12	0.285	0.903
Rumen muscular layer (mm)	1.09	1.02	0.135	0.745
Rumen papillae				
Density (n/cm ²)	107.5	150.5	17.88	0.147
Length (mm)	1.15	1.68	0.168	0.072
Width (mm)	0.35	0.34	0.042	0.880
Keratinization ⁴	1.04	1.06	0.050	0.836

¹ CON = control concentrate; SBC = concentrate containing 2.4 g/Kg of sodium butyrate.

² SE = standard error of the mean.

³ DMI = dry matter intake; ADG = average daily gain; BW = body weight; HCW = hot carcass weight.

⁴: measured on a scale of 1 to 5.

Table 3. Effect of sex during the suckling period.

	Sex		SE ¹	P-value
	Males	Females		
ADG ² (g/lamb/d)	250.8	231.2	5.60	0.021
BW at weaning (Kg)	17.6	16.8	0.33	0.065
HCW ² (Kg)	8.9	8.7	0.20	0.516
Dressing (%)	52.3	50.8	1.05	0.371
Reticulum-rumen weight (g)	263.6	302.4	12.90	0.102
Rumen fluid pH	6.07	6.22	0.285	0.725
Rumen muscular layer (mm)	1.04	1.06	0.135	0.925
Rumen papillae				
Density (n/cm ²)	123.5	134.5	17.88	0.679
Length (mm)	1.11	1.73	0.168	0.046
Width (mm)	0.37	0.32	0.042	0.506
Keratinization ³	1.03	1.07	0.050	0.634

¹: SE = standard error of the mean.

²: ADG = average daily gain; BW = body weight; HCW = hot carcass weight.

³: measured on a scale of 1 to 5.

Table 4. Effect of treatments during the fattening period.

	Treatment ¹				SE ²	P-value
	CON-CON	CON-SBC	SBC-CON	SBC-SBC		
Concentrate DMI ³ (g/lamb/d)	589.0	621.1	589.6	675.9	34.35	0.535
ADG ³ (g/lamb/d)	225.4	197.2	205.8	229.3	19.19	0.612
Final BW (Kg)	24.4	24.2	24.5	25.4	0.73	0.664
FCR ³	2.88	3.05	2.82	2.88	0.259	0.928
HCW ³ (Kg)	11.9	11.8	12.0	12.0	0.12	0.754
Dressing (%)	47.8	47.6	48.4	49.0	0.63	0.376
Reticulum-rumen weight (g)	502.0	494.5	471.0	515.5	18.88	0.415
Rumen fluid pH	6.46	6.34	6.25	6.48	0.093	0.244
Rumen muscular layer (mm)	1.29	1.21	1.18	1.25	0.082	0.822
Rumen papillae						
Density (n/cm ²)	109.6	112.7	90.3	86.0	11.88	0.285
Length (mm)	1.84	1.79	1.89	1.82	0.224	0.990
Width (mm)	0.38	0.41	0.46	0.44	0.046	0.666
Keratinization ⁴	1.31	1.30	1.47	1.39	0.122	0.750

¹: CON-CON = control concentrate in the suckling and the fattening periods; CON-SBC = control concentrate in the suckling period and concentrate containing 2.4 g/Kg of sodium butyrate in the fattening period; SBC-CON = concentrate containing 2.4 g/Kg of sodium butyrate in the suckling period and control concentrate in the fattening period; SBC-SBC = concentrate containing 2.4 g/Kg of sodium butyrate in the suckling and in the fattening period.

²: SE = standard error of the mean.

³: DMI = dry matter intake; ADG = average daily gain; FCR = feed conversion ratio; BW = body weight; HCW = hot carcass weight.

⁴: measured on a scale of 1 to 5.

Table 5. Effect of sex during the fattening period.

	Sex		SE ¹	P-value
	Males	Females		
ADG ² (g/lamb/d)	245.0	184.6	12.28	0.001
Final BW ² (Kg)	25.9	23.3	0.52	0.001
HCW ² (Kg)	11.7	12.2	0.09	0.001
Dressing (%)	47.8	48.7	0.45	0.164
Reticulum-rumen weight (g)	509.9	481.7	14.41	0.206
Rumen fluid pH	6.31	6.46	0.066	0.119
Rumen muscular layer (mm)	1.26	1.21	0.058	0.575
Rumen papillae				
Density (n/cm ²)	100.8	98.5	8.41	0.850
Length (mm)	1.96	1.70	0.158	0.253
Width (mm)	0.41	0.43	0.032	0.792
Keratinization ³	1.33	1.41	0.086	0.527

¹: SE = standard error of the mean.

²: ADG = average daily gain; BW = body weight; HCW = hot carcass weight.

³: measured on a scale of 1 to 5.

CAPÍTULO 6

Discusión general

Discusión general

La tendencia a la intensificación de los sistemas productivos, además de ser un método para incrementar la producción, va de la mano de la necesidad de tener mayor control completo sobre cada uno de los aspectos en los que una explotación se encuentra involucrada. Esto ocurre porque la realidad de una explotación se ve afectada cada vez más por restricciones políticas, por la globalización de la agricultura mundial, por el impacto social, por la influencia de los consumidores, por la protección medioambiental y por la salud pública (Ravindran, 2010). Por tanto, el soporte científico a las empresas del sector ganadero, además de ser abundante y serio, tiene que ser accesible y convincente. En este contexto, es importante destacar que la presente tesis es el fruto de la colaboración entre universidad y entidades privadas. Las empresas han financiado los estudios que han sido llevados a cabo gracias al personal, conocimiento y medios de la universidad. Por lo tanto, no es de extrañar que el enfoque de esta tesis sea práctico, orientado a proporcionar conocimiento a los ganaderos y a las empresas involucradas en la nutrición animal. Se trata de estudios heterogéneos en muchos aspectos, como objetivos, tratamientos, especies, finalidades productivas, estados productivos y dietas. Como consecuencia, el hilo conductor que une los estudios es muy genérico: intentar aumentar la productividad de los pequeños rumiantes por medio de suplementaciones nutricionales. La revisión bibliográfica abarca numerosos temas que no necesariamente están vinculados entre ellos, y se ha decidido profundizar solo en unos en concreto considerados los más relevantes a la hora de introducir los estudios realizados: la toxemia de la gestación, los aceites esenciales y el butirato. Los objetivos específicos de cada trabajo son muy diversos entre ellos, por lo que compararlos en la discusión general no aportaría más información de la que ya proporcionan las discusiones individuales de cada uno de los estudios. Por este motivo, en este capítulo final se pretende comentar las decisiones tomadas durante el desarrollo de la tesis, reflexionar sobre percepciones y acontecimientos que han surgido a lo largo de la tesis, y acabar con unas perspectivas de futuro.

En España, el sector ovino-caprino representa sólo el 8 % de la Producción Final Ganadera, mientras el sector vacuno representa más de un 32 %, (segundo por detrás del sector porcino con un 34 %, MAGRAMA, 2012). De la misma forma, también la información científica disponible consultada en esta tesis es prevalentemente en vacuno y más escasa en pequeños rumiantes. Esto no es de extrañar puesto que la ganadería intensiva de vacuno es ubicuitaria a nivel mundial, mientras que la de ovino-caprino reside en unos pocos países como España, Francia, Italia, entre otros. En este contexto de nicho de mercado, las empresas que

inviertan en la investigación de los pequeños rumiantes son pequeñas y locales. Por lo tanto, gracias a la intensificación en curso del sistema productivo en pequeños rumiantes, y a la disponibilidad de conocimiento sobre el sistema intensivo en vacuno, el ovino-caprino es un sector que actualmente ofrece oportunidades para los ganaderos, las empresas y la comunidad científica. Es oportuno que estas tres entidades llegen a un compromiso para afrontar de la mejor manera la intensificación del sector, sacando el máximo partido al dinero invertido y a los medios disponibles. Este es el motivo por lo que, en esta tesis, aspectos como la ingestión individual han sido apartados a favor de mantener inalteradas las condiciones reales de campo, aumentando de esta forma la practicidad y la pragmatidad a costa del rigor científico.

Uno de los hallazgos fortuitos de la presente tesis ha sido el vacío de información epidemiológica acerca de la toxemia de la gestación en España. Los granjeros españoles afirman tener casos de toxemia de la gestación, cosa que los veterinarios de campo confirman. Las empresas producen suplementos pensados para prevenir y tratar este trastorno, donde encima invierten capital de investigación. También los científicos en España están interesados en este trastorno (González *et al.*, 2011), así como los portales divulgativos del sector ganadero como Albéitar, o Oviespaña, e incluso el portal del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Ferrer Mayayo, 2012; Oviespaña, 2013; MAGRAMA, 1993). En definitiva, existe la percepción generalizada de que la toxemia de la gestación está presente en España y es relevante, pero no hay pruebas. Por lo tanto, es oportuno que la ciencia colme este vacío con estudios epidemiológicos de la toxemia de la gestación, más aún sabiendo que probablemente su incidencia se incrementará a la vez que las explotaciones de carácter intensivo aumenten.

Entre los extractos de plantas, los aceites esenciales han mostrado tener cierta tendencia a mejorar el estado general de los rumiantes, y es probable observar resultados positivos si se realizaran experimentos con una n de animales considerablemente más grande que las usadas hasta ahora. Cuando por ejemplo el compuesto comercial CRINA® fue probado en un experimento con 80 ovejas los resultados fueron claramente positivos (Giannenas *et al.*, 2011), mientras que fueron positivos pero menos evidentes cuando el número de animales fue menor (Benchaar *et al.*, 2006; Benchaar *et al.*, 2007; Tassoul y Shaver, 2009). También otros extractos de plantas, cultivos microbianos, enzimas y ácidos orgánicos han mostrado tener cierto potencial como aditivos zootécnicos tal y como hemos descrito en la revisión bibliográfica. La selección de uno de estos aditivos para su uso en la realidad no es sencilla, ya que hay que tener en cuenta que han sido estudiados en condiciones diferentes en términos

CAPÍTULO 6

de especie, dieta, manejo experimental, estado productivo, y objetivo productivo. La prohibición del uso de antibióticos en el 2006 creó un vacío en el mercado, que la industria está colmando con la comercialización de muchas variedades de aditivos zootécnicos. En la actualidad en el mercado se puede encontrar una amplia gama de aditivos que en mayor o menor medida inciden favorablemente sobre los procesos digestivos y metabólicos, y pueden llegar a incrementar el rendimiento de los rumiantes. En la práctica, es aconsejable una colaboración entre las empresas de nutrición y los propios ganaderos, para calibrar el uso de determinados aditivos zootécnicos a las condiciones específicas de cada explotación. Asimismo, la comunidad científica debería ampliar la investigación sobre los aditivos manteniendo el diseño experimental cuanto más fiel posible a las condiciones reales de campo, y analizando las eventuales interacciones entre las mismas condiciones y el efecto del aditivo.

El propylen glicol (o mono-propelen glicol, que es propilen glicol sintetizado industrialmente mediante la hidratación del óxido de propileno), y el glicerol, son unos compuestos químicos comúnmente presente en cosméticos, medicamentos, lubricantes y alimentos. Desde hace décadas, ambos se utilizan en la alimentación de los rumiantes y en la profilaxis de la toxemia de la gestación y de la cetosis durante el parto, y basándonos sobre los estudios realizados hasta ahora, ninguno de los dos parece presentar más eficacia que el otro. Por lo tanto, el uso de un compuesto u otro depende fundamentalmente de su coste en el mercado, que actualmente está a favor del glicerol (alrededor de un 15 % menos con respecto al propilen glicol) por ser un excedente de la creciente industria del biodiesel (Yang *et al.*, 2012).

Por lo que concierne el butirato sódico, los resultados de las investigaciones llevadas a cabo hasta ahora, incluidas las de la presente tesis, apuntan a que, si bien no parece idóneo como aditivo zootécnico en rumiantes adultos, sí que ha demostrado claramente ser un promotor del crecimiento durante el periodo de lactancia en los rumiantes. El butirato sódico, al tener efectos positivos tanto si se añade al lactoreemplazante, como al concentrado, puede ser utilizado tanto en aquellas explotaciones donde la cría se separa de la madre al nacimiento, como en aquellas donde la cría se queda con la madre hasta el destete. En la especie caprina, dada la falta de información científica al respecto, sería útil investigar si los efectos beneficiosos descritos del butirato se producen también en cabritos lactantes. De hecho, en España las explotaciones caprinas se verían particularmente beneficiadas ya que la cría de cabritos es mayoritariamente artificial y el consumo es meramente de carne de tipo lechal

(Granado-Martín *et al.*, 2007). Por lo que concierne la especie ovina, en España y en países mediterráneos como Francia e Italia, es también habitual el consumo de carne de cordero sacrificado al destete, comúnmente llamado “cordero lechal” (Miguélez *et al.*, 2007). En este contexto, el uso del butirato sódico podría incrementar la productividad de la explotación ovina, tanto aumentando el peso de la canal, como disminuyendo los días al sacrificio. También es posible que el butirato sea beneficioso a una explotación no solamente por el crecimiento de los corderos. Para explicar ésto es necesario comentar que en el cuarto experimento (Capítulo 5) se tomó la decisión de medir la condición corporal de las ovejas madres al destete. Tras el análisis estadístico, las ovejas madres de los corderos que comían el concentrado con butirato sódico tenían una mejor condición corporal que las del grupo control (2,47 vs 2,19, respectivamente), a pesar de recibir todas la misma dieta y manejo. Sus corderos (del grupo SBC) ingirieron más concentrado, y entre los cuidadores había la percepción general de que permanecían más tiempo en el comedero que los control (CON). Sería interesante averiguar si existe una relación entre la distribución de butirato sódico a los corderos y el estado corporal de las madres, mediante un estudio del comportamiento alimentario de los corderos y un control experimental sobre las madres. La hipótesis sería que la suplementación de butirato sódico aumentaría la permanencia de los corderos en los comederos, reduciendo, por consiguiente, el tiempo mamando y la cantidad del leche ingerida, y por lo tanto, quedaría una mayor cantidad de leche disponible para la venta y/o mejora de la condición corporal. Si así fuera, el butirato podría suponer una herramienta para el ganadero en el presente contexto de transición de un sistema de producción tradicional a uno intensivo, y un motivo para apostar por la investigación y comercialización del butirato en la industria de piensos.

Perspectivas de futuro

A medida que las explotaciones de pequeños rumiantes se van intensificando, va también aumentando el uso de software que permite gestionar el rebaño de una forma más simple, rápida y eficiente. En un futuro, la recogida de datos de los animales será más abundante, precisa e inmediata mediante la aplicación de microchips (Reynecke, 2007; Önder *et al.*, 2009). Estos datos podrían representar una valiosa fuente para realizar estudios a gran escala, ayudando a determinar la incidencia de enfermedades como la toxemia de la gestación, a detectar con rapidez las causas principales que generan el trastorno, y a focalizar la investigación sobre los aditivos zootécnicos según el tipo de efecto que se precise.

CAPÍTULO 6

El estudio del comportamiento y del bienestar animal como medio para incrementar la producción es una línea de investigación en auge en todos los sectores ganaderos (Fraser, 2008). El enriquecimiento ambiental y el uso del comportamiento animal como indicador del bienestar son herramientas que pueden ayudar a mejorar el rendimiento y la calidad del producto final de los pequeños rumiantes en los sistemas intensivos (Aguayo-Ulloa *et al.*, 2013; Reefmann *et al.*, 2009; Madani *et al.*, 2013). Incluir en los experimentos sobre aditivos zootécnicos el estudio del comportamiento, sobre todo del comportamiento alimenticio, permitiría conocer más a fondo la acción del aditivo en cuestión.

Las nuevas fronteras de investigación en el ámbito de la producción de los pequeños rumiantes van de la mano de los avances tecnológicos, microbiológicos y genéticos. A través de la nutrigenómica, por ejemplo, que estudia las interacciones entre el genoma y los nutrientes, los científicos están contribuyendo al desarrollo de estrategias para hacer frente a algunas de las limitaciones en la capacidad reproductiva y productiva de las vacas (Dawson, 2006; Bauman *et al.*, 2011), y recientemente también de los pequeños rumiantes: se está averiguando como los componentes de la dieta afectan a la activación de los genes que regulan la oxidación de los ácidos grasos en el hígado, información que podría resultar útil para reducir el riesgo de esteatosis hepática (Tolar *et al.*, 2013). Estudiar los efectos nutrigenómicos de aditivos zootécnicos sobre los rumiantes contribuiría posiblemente a la creación de aditivos más eficaces, y a mejorar su comercialización.

Todas estas innovaciones respaldan el campo de la producción de los pequeños rumiantes, y hacen que el camino del sector hacia la implementación del sistema intensivo se vea no sólo como una necesidad, sino como una oportunidad.

Referencias bibliográficas

- Aguayo-Ulloa, L.A., Miranda-de la Lama, G.C., Pascual-Alonso, M., Fuchs, K., Olleta, J.L., Campo, M.M., Alierta, S., Villarroel, M., María, G.A., 2013. Effect of feeding regime during finishing on lamb welfare, production performance and meat quality. *Small Rum. Res.* 111, 147–156.
- Benchaar, C., Petit, H.V., Berthiaume, R., Whyte, T.D., Chouinard, P.Y., 2006. Effects of addition of essential oils and monensin premix on digestion, ruminal fermentation, milk production, and milk composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 4352–4364.

- Benchaar, C., Petit, H.V., Berthiaume, R., Ouellet, D.R., Chiquette, J., Chouinard, P.Y., 2007. Effects of essential oils on digestion, ruminal fermentation, rumen microbial populations, milk production, and milk composition in dairy cows fed alfalfa silage or corn silage. *J. Dairy Sci.* 90, 886–897.
- Bauman, D.E., Harvatine, K.J., Lock, A.L., 2011. Nutrigenomics, rumen-derived bioactive fatty acids, and the regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 31, 299–319.
- Dawson, K.A., 2006. Nutrigenomics: Feeding the genes for improved fertility. *Anim. Reprod. Sci.* 96, 312–322.
- Ferrer Mayayo, L.M., Ramos Antón, J.J., Fugueras Ara, L., González Saínz, J.M., 2012. La toxemia de la gestación en oveja. *Albéitar*. Consultado el 01/05/2014. <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/9258/ARTICULOS-RUMIANTES-ARCHIVO/La-toxemia-de-gestacion-en-la-oveja.html>.
- Franz, C., Baser, K.H.C., Windisch, W., 2010. Essential oils and aromatic plants in animal feeding—a European perspective. A review. *Flav. Fragr. J.* 25, 327–340.
- Fraser, D., 2008. Toward a global perspective on farm animal welfare. *Applied Anim. Behaviour Sci.* 113, 330–339.
- Granado-Martín, J.J., Abellán-Gómez, J., Palacios-López, J.C., Martínez-Fernández, J.J., 2007. Guías de prácticas correctas de higiene Caprino de carne y leche. En: Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. Consultado el 25/08/2014. http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/publicaciones/caecaprino_tcm7-5980.pdf.
- González Montaña, J.R., 1993. La toxemia de la gestación. En: Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. Consultado el 01/05/2014. http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_MG/MG_19_93_5_93_52_56.pdf.
- González, F.H., Hernández, F., Madrid, J., Martínez-Subiela, S., Tvarijonaviciute, A., Cerón, J.J., Tecles, F., 2011. Acute phase proteins in experimentally induced pregnancy toxemia in goats. *J. Vet. Diagn. Invest.* 23, 57–62.

CAPÍTULO 6

- Madani, T., Allouche, L., Saffidine, N., Belkasmi, F., Semara, L., 2013. Maternal and neonatal behaviors of Ouled Djellal sheep breed and their effects on production parameters. *Small Rum. Res.* 114, 46–50.
- Miguélez, E., Zumalacárregui, J.M., Osorio, M T., Mateo, J., 2007. Características de la canal de cordero lechal de diversas razas producidas en España (revisión bibliográfica). *ITEA.* 103, 14–30.
- Önder, H., Cam, M.A., Soydan, E., 2009. Automation of flock management and establishment of decision support systems for small ruminant production. *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 4, 314–319.
- Oviespaña, 2013. Bioquímica, causas y tratamiento de la toxemia de gestación en ganado ovino. Consultado el 01/05/2014. <http://www.oviespana.com/informacion-de-ovino/servicio-diario-de-noticias/noticias/bioquimica-causas-y-tratamiento-de-la-toxemia-de-gestacion-en-ganado-ovino>.
- Ravindran, V., 2010. Aditivos en alimentación animal: presente y futuro. *FEDNA* 26, 3–26.
- Reefmann, N., Bütikofer Kaszàs, F., Wechsler, B., Gyax, L., 2009. Ear and tail postures as indicators of emotional valence in sheep. *App. Anim. Behavior Sci.* 118, 199–207.
- Reynecke, D.P., 2007. Software-based decision-support: a basis for the development of a predictive system for sustainable management of haemonchosis in small ruminants. Doctoral dissertation, Faculty of Veterinary Science, University of Pretoria.
- Savoini, G., Agazzi, A., Invernizzi, G., Cattaneo, D., Pinotti, L., Baldi, A., 2010. Polyunsaturated fatty acids and choline in dairy goats nutrition: Production and health benefits. *Small Rumin. Res.* 88, 135–144.
- Tassoul, M.D., Shaver, R.D., 2009. Effect of a mixture of supplemental dietary plant essential oils on performance of periparturient and early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 1734–1740.
- Thomas, D.V., 2002. Aromatherapy: mythical, magical, or medicinal? *Holist. Nurs. Pract.* 17, 8–16.
- Toral, P.G., Hervás, G., Frutos, P., 2013. Role of nutrigenomics in ruminant milk production: ¿Qué es la nutrigenómica? Un ejemplo sobre la regulación del perfil lipídico de la leche. *Albéitar.* 163, 48–49.

Turner, J.L., Dritz, S.S., Minton, J.E., 2001. Review: Alternatives to conventional antimicrobials in swine diets. *Prof. Anim. Sci.* 17, 217–226.

Yang, F., Milford, A.H., Sun, R., 2012. Value-added uses for crude glycerol--a byproduct of biodiesel production. *Biotech. Biofuels.* 5, 13.

Whittemore, C., 1998. *The science and practice of pig production* (No. Eds. 2). Blackwell Science Ltd.

CAPÍTULO 7

Conclusiones

Los estudios realizados en la presente tesis permiten concluir que:

1. La suplementación de la combinación de capsicum, eugenol y cinamaldehído no alteró la ingestión de alimento, el perfil energético plasmático ni la producción y composición de leche de cabras lecheras durante la transición y la lactación temprana, por lo que su uso como aditivo zootécnico en estas condiciones específicas no es recomendable.
2. Por lo general, la eficacia de los aceites esenciales como aditivos zootécnicos en el ganado lechero es dudosa, y para que se produzcan los efectos beneficiosos descritos en algunos experimentos, es necesaria más investigación con un mayor control sobre los diversos factores que inciden sobre el efecto de los mismos.
3. Los cuatro suplementos gluconeogénicos utilizados tuvieron efectos parecidos sobre el perfil plasmático y la producción de cabras lecheras en transición y lactación temprana. Sin embargo, el suplemento gluconeogénico a base de glicerol incrementó la grasa y la proteína en la leche, por lo que se presenta como la mejor alternativa.
4. La adición de butirato sódico en el concentrado a diferentes dosis no alteró la composición de leche (en especial la grasa), la condición corporal, la concentración de β -hidroxibutirato, y la producción de leche de cabras a media lactación, pero a dosis máxima el butirato sódico redujo la ganancia de peso, desaconsejando el uso de butirato sódico como aditivo zootécnico en estas condiciones.
5. La suplementación de butirato sódico en el concentrado de corderos durante la lactancia aumentó la ingestión, la ganancia de peso, el peso y el rendimiento de la canal, y tendió a aumentar la longitud de las papilas ruminales, actuando, por lo tanto, como promotor del crecimiento.
6. Durante la fase de engorde, sin embargo, los efectos beneficiosos del butirato sódico se diluyeron, y la adición de butirato sódico en el concentrado ni potenció ni indujo dichos efectos, por lo que su uso tras el destete no es aconsejable.