



Universitat de Lleida

Estrategias de optimización del engorde intensivo de terneros: nivel de energía, forma de presentación y tipo genético

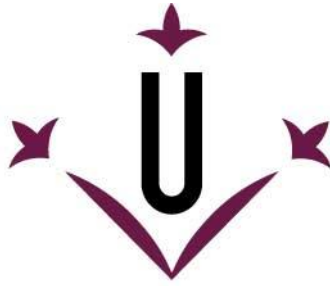
Jesús Mora Gil

<http://hdl.handle.net/10803/668988>

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



Universitat de Lleida

TESIS DOCTORAL

**ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN DEL
ENGORDE INTENSIVO DE TERNEROS:
NIVEL DE ENERGÍA, FORMA DE
PRESENTACIÓN Y TIPO GENÉTICO**

Jesús Mora Gil

Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la Universitat de
Lleida

Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Agraria y Alimentaria

Directores

Daniel Villalba Mata

Gabriel de la Fuente

2019



Daniel Villalba Mata, Doctor Ingeniero Agrónomo y Gabriel de la Fuente Oliver, Doctor en Veterinaria, ambos Profesores Titulares del Departamento de Ciència Animal de la Universitat de Lleida

CERTIFICAN:

Que la presente memoria titulada “ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN DEL ENGORDE INTENSIVO DE TERNEROS: NIVEL DE ENERGÍA, FORMA DE PRESENTACIÓN Y TIPO GENÉTICO”, elaborada por JESÚS MORA GIL, ha sido realizada bajo su dirección y reúne las condiciones exigidas para optar al Grado de Doctor, por lo que consideran procede su presentación.

Lleida, a 20 de mayo de 2019

Los directores de Tesis,

Fdo. Daniel Villalba Mata

Fdo. Gabriel de la Fuente Oliver

Vull agrair a tothom qui se senti partícip d'aquest treball final, ja que ha estat obra de tot un equip a molts nivells de col·laboració que al final hem aconseguit acabar-ho quan semblava un camí infinit.

A tots els professors que han ajudat amb consells, correccions, ajuda en els moments més difícils, però en especial al Dani: m'ha demostrat confiança en mi, que ha estat mútua òbviamment, les hores perdudes en granges, al despatx i més enllà de ser un excel·lent professor és millor persona. Tothom voldria tenir un tutor així.

A la Cooperativa d'Ivars d'Urgell i a la granja experimental "Montsuà", a tots els treballadors que hem van tractar genial i a la Núria i a l'Eliseu, els quals van brindar la oportunitat de fer aquest projecte i treballar amb un sistema d'alimentació quasi únic amb moltes possibilitats.

A tots els companys de departament: Henris i Reza que em van ensenyar tot el que sabien, inclòs el mal caràcter; Josué que encara riem ara i Xavi que menja a part...9 anys junts des de CSA i fins al final de la tesi, algun dia tornarem a afonar alguna nau. Si he pogut aguantar el final de la tesi i l'inici de la nova etapa laboral ha estat sens dubte per l'ajut en tots els aspectes de la meva companya de despatx i de vida, Sandra.

Als amics, que son molt pocs, i a la meva terra (Vandellòs i Bisaurri), per oblidar-me del treball quan tocava.

A TOTA la meva família pel suport moral extern.

I finalment aquesta tesi va dedicada a Àngel Jardí Domènech, mai t'oblidaré.

RESUMEN

El sistema de alimentación en la fase de engorde en el sur de Europa (España e Italia) con un sistema intensivo de alimentación (90% concentrado y 10% paja) es muy diferente al del resto de Europa, con sistemas de producción más extensivos y basados en forrajes. Económicamente, este sistema de engorde es muy dependiente de los costes de la alimentación (entre 30 y 65% de los costes de producción). La viabilidad de las explotaciones engorde de terneros, al límite de la rentabilidad en algunos casos, depende de la optimización del sistema en cuanto a la alimentación y de la decisión del tipo genético a usar (al ser la compra de animales el segundo coste de producción).

El objetivo principal de esta tesis fue proponer alternativas para optimizar el engorde de terneros basado en raciones con un elevado porcentaje de concentrado, abordando el estudio de los niveles de energía y presentación de los concentrados y la comparación de terneros de las razas Holstein y Montbeliard.

En el primer capítulo se evaluaron concentrados con tres niveles de energía y con dos formas de presentación (Harina vs Expandido y Granulado). Se estudió el patrón de fermentación ruminal mediante la incubación *in vitro* del producto en estudio con un inóculo ruminal procedente de terneros en las mismas condiciones de alimentación. También se estudió la degradabilidad *in situ* mediante el uso de terneros canulados en rumen. Dentro del rango de energía de las raciones estudiadas (0.96 a 1.05 UFC/kg MF) no se encontraron diferencias relevantes en los parámetros de fermentación (producción de gas, degradabilidad *in vitro*, concentración de ácidos grasos volátiles y amoníaco). Tampoco se detectaron efectos del nivel de energía sobre la cinética de degradación *in situ*. La presentación en expandido y granulado mejoró los parámetros de fermentación (producción de gas, degradabilidad *in vitro*) y la cinética de degradación *in situ*. En cambio no hubo una modificación significativa en la concentración de ácidos grasos volátiles y amoníaco.

El segundo capítulo se comprobó el efecto de la temperatura de procesado en un expander sobre el maíz, que es componente mayoritario de las raciones usadas (40%), y sobre los concentrados finales. Al igual que en el capítulo anterior las metodologías utilizadas para dicha evaluación consistieron en técnicas de incubación *in vitro* y el estudio de la degradabilidad *in situ*. El incremento de temperatura en el proceso de expandido del maíz

mejoró la cinética de degradación *in situ*. En cuanto a los parámetros de fermentación *in vitro* no se detectó mejora por encima de los 110°C. El expandido de maíz a 120°C redujo la concentración de amoníaco. Esto, junto con las dificultades asociadas al proceso tecnológico hace inviable esta opción a nivel práctico. El incremento de temperatura en el proceso de expandido de los piensos no afectó ni a los parámetros de fermentación *in vitro* ni a la cinética de degradación *in situ*.

En el capítulo tres se valoraron diferentes tipos de aprovechamiento del maíz para la alimentación animal. Los productos con más humedad y cosechados con mayor precocidad como el *pastone* aumentan la energía metabolizable y su digestibilidad en relación con el maíz grano convencional aportando la ventaja de una posible doble cosecha a nivel agronómico. En relación con el *pastone* convencional, la inclusión de la mazorca en el ensilado, *pastone* integral, reduce la disponibilidad de energía metabolizable pero mejora la fibra para el correcto funcionamiento del rumen. El *pastone* integral es un ingrediente válido para alimentación animal y deberá valorarse agronómicamente la viabilidad de su uso en producción animal.

Finalmente en el capítulo cuatro se presentan los resultados de dos experiencias de engorde (de 180 a 520 kg) consecutivas en la granja experimental Montsuà propiedad de la Cooperativa de Ivars d'Urgell. Esta granja con 4 corrales (20 terneros por corral) está equipada con un sistema de alimentación tipo túnel automatizado a través del cual se pudieron obtener consumos individuales y por visita, así como el peso vivo de los animales cada vez que ingerían concentrado. Se estudiaron dos tipos de terneros: Holstein y Montbeliard. Los terneros fueron alimentados con raciones con un 90% concentrado y 10 % paja. En este experimento se utilizaron también concentrados con los tres niveles de energía y las dos formas de presentación estudiadas en capítulos anteriores. El nivel de energía afectó a la ganancia media diaria y conversión en la fase de crecimiento (180 a 400 kg PV), en cambio, no se observó efecto en la fase de cebo (400 a 520 kg PV). El nivel de energía medio fue el que obtuvo mejores resultados productivos. Este efecto fue consistente tanto en la raza Holstein (1 UFC/kg MF), como en la raza Montbeliard (1.02 UFC/kg MF) aunque este efecto fue más evidente en la raza Holstein. En general no se encontraron diferencias en el comportamiento alimentario de los animales alimentados con diferentes niveles de energía. La forma de presentación de las raciones no afectó a la ganancia media diaria y conversión en la fase de crecimiento; en cambio, la presentación expandido y granulado aumentó la ganancia media diaria y redujo la conversión en la fase

de cebo. No se observaron diferencias relevantes en el comportamiento alimentario entre razas pero se detectó una variabilidad individual muy importante en dichos parámetros. Los parámetros productivos (ganancia media diaria y conversión) obtenidos por los terneros de raza Holstein y Montbeliard fueron muy superiores a los propuestos en las recomendaciones de racionamiento más utilizadas. La pauta de crecimiento de los terneros de raza Holstein tuvo un punto de inflexión a los 170 días de edad. En cambio, los terneros de raza Montbeliard tuvieron su máxima ganancia media diaria a los 240 días de edad. El índice de conversión en Montbeliard fue mejor que en Holstein en los dos períodos de engorde. En la fase de crecimiento los Montbeliard tuvieron un índice de conversión de 3.6 frente a 3.9 de los Holstein. En la fase de cebo la diferencia fue más importante (6.3 en Montbeliard frente a 7.7 en Holstein).

Palabras clave: Holstein, Montbeliard, *in vitro*, *in situ*, degradabilidad, energía, presentación, *pastoreo*, terneros, cebo.

RESUM

El sistema de alimentació en la fase d'engreix al Sud de Europa (Espanya i Itàlia) amb un sistema intensiu d'alimentació (90% concentrat i 10% palla) es molt diferent a la resta d'Europa, amb sistemes de producció mes extensius i basats en farratges. Econòmicament, el sistema d'engreix basat en pinso i palla es molt dependent dels costos de la alimentació (entre 30 y 65% dels costos de producció). La viabilitat de les explotacions d'engreix de vedells, al límit de la rendibilitat en alguns casos, depèn de la optimització del sistema en els àmbits de la alimentació i de la decisió del tipus genètic a utilitzar (al ser la compra de animals el segon cost de producció).

L'objectiu principal d'aquesta tesis va ser proposar alternatives per optimitzar l'engreix de vedells basat en raciones amb un elevat percentatge de concentrat, l'estudi es basarà en l'estudi dels nivells d'energia i presentació dels concentrats i la comparació de vedells de les races Holstein y Montbeliard.

Al primer capítol es van avaluar concentrats amb tres nivells d'energia i amb dos formes de presentació (Farina vs Expandit y Granulat). Es va estudiar el patró de fermentació ruminal mitjançant la incubació *in vitro* del producte amb estudi amb un inòcul ruminal procedent de vedells en les mateixes condicions d'alimentació. També es va estudiar la degradabilitat *in situ* mitjançant l'ús de vedells canulats. Dins el rang d'energia de les raciones estudiades (0.96 a 1.05 UFC/kg MF) no es van trobar diferències rellevants en els paràmetres de fermentació (producció de gas, degradabilitat *in vitro*, concentració de àcids grassos volàtils i amoníac). Tampoc es van detectar efectes del nivell de energia sobre la cinètica de degradació *in situ*. La presentació en expandit i granulat va millorar els paràmetres de fermentació (producció de gas, degradabilitat *in vitro*) i la cinètica de degradació *in situ*. En canvi, no va modificar significativament en la concentració de àcids grassos volàtils i amoníac.

En el segon capítol es va comprovar el efecte de la temperatura de processat d'un expandir sobre el panís, que es el component majoritari de les raciones utilitzada (40%), i sobre els concentrats finals. Al igual que en el capítol anterior, les metodologies utilitzades per aquesta avaluació van consistir en tècniques d'incubació *in vitro* i l'estudi de la degradabilitat *in situ*. L'increment de temperatura en el procés de expandit del panís va millorar la cinètica de degradació *in situ*. En quant als paràmetres de fermentació *in vitro* no es va detectar millora per sobre de 110°C. El expandit de panís a 120°C va reduir la concentració de amoníac. Això, junt amb les dificultats associades al procés tecnològic

fa inviable aquesta opció a nivell pràctic. L'increment de temperatura en el procés d'expandit dels pinsos no va afectar ni als paràmetres de fermentació *in vitro* ni a la cinètica de degradació *in situ*.

Al capítol tres es van valorar diferents tipus d'aprofitament del panís per l'alimentació animal. Els productes amb més humitat y recollits amb més precocitat com el *pastone* augmenten l'energia metabolitzable i la seva digestibilitat en relació amb el panís gra convencional aportant la avantatja de una possible doble collita a nivell agronòmic. En relació amb el *pastone* convencional, la inclusió de la panotxa al ensitjat, *pastone* integral, redueix la disponibilitat d'energia metabolitzable, però millora la fibra per el correcte funcionament del rumen. El *pastone* integral es un ingredient vàlid per l'alimentació animal y s'haurà de valorar agronòmicament les productivitats d'ambos.

Finalment, en el capítol quart es presenten els resultats de dos experiències d'engreix (de 180 a 520 kg) consecutives en la granja experimental Montsuà propietat de la Cooperativa de Ivars d'Urgell. Esta granja amb 4 corrals (20 vedells per corral) està equipada amb un sistema d'alimentació tipus túnel automatitzat a través del qual es van poder obtenir consums individuals i per visita, així com el pes viu dels animals cada cop que ingerien concentrat. Es van estudiar dos tipus de vedells: Holstein y Montbeliard. Els vedells van ser alimentats amb racions amb un 90% concentrat i 10 % palla. En aquest experiment es van utilitzar també concentrats amb els tres nivells d'energia i les dos formes de presentació estudiades en capítols anteriors. El nivell d'energia va afectar al guany mig diari i conversió a la fase de creixement (180 a 400 kg PV), en canvi, no es va observar efecte en la fase de acabat (400 a 520 kg PV). El nivell d'energia mig va ser el que va obtenir millors resultats productius. Aquest efecte va ser consistent tant en la raça Holstein (1 UFC/kg MF), como en la raça Montbeliard (1.02 UFC/kg MF) tot i que aquest efecte va ser més evident en la raça Holstein. En general no se van trobar diferències en el comportament alimentari dels animals alimentats amb diferents nivells d'energia. La forma de presentació de les racions no va afectar al guany mig diari i conversió a la fase de creixement; en canvi, la presentació expandit i granulat va augmentar el guany mig diari i va reduir la conversió en la fase d'acabat. No es van observar diferències rellevants en el comportament alimentari entre races, però es van detectar una variabilitat individual molt important en aquests paràmetres. Els paràmetres productius (guany mig diari i conversió) obtinguts pels vedells de raça Holstein i Montbeliard van esser molt superiors als proposats en les recomanacions de racionament mes utilitzades. La pauta de

creixement dels vedells de raça Holstein van tenir un punt de inflexió als 170 dies de edat. En canvi, els vedells de raça Montbeliard van tenir el seu màxim guany mig diari als 240 dies de edat. L'índex de conversió en Montbeliard va ser millor que en Holstein en els dos períodes d'engreix. En la fase de creixement els Montbeliard van tenir un índex de conversió de 3.6 en front a 3.9 dels Holstein. En la fase de acabat la diferència va ser més important (6.3 en Montbeliard en front a 7.7 en Holstein).

Paraules clau: Holstein, Montbeliard, *in vitro*, *in situ*, degradabilitat, energia, presentació, *pastore*, vedells, engreix.

SUMMARY

The feeding system in southern Europe (Spain and Italy), based on a high proportion of concentrate (90% concentrate and 10% straw) is very different compared with the rest of Europe, in which the production systems are more extensive and based on forages. Economically, this fattening system is very dependent on the feeding costs (between 30 and 65% of production costs). The viability fattening calves farms, at the limit of profitability in some cases, depends on the optimization of the system in terms of feeding and the right decision on the animal genetics (bearing in mind that purchase of animals is the second higher production cost).

The main objective of this thesis was to propose alternatives to optimize the fattening of calves based on rations with a high percentage of concentrate, studying energy levels and feedstuff presentation and comparing two different breeds, Holstein and Montbeliard.

In the first chapter, feedstuffs were evaluated with three energy levels and with two forms of presentation (Flour vs. Expanded and Granulated). Ruminal fermentation pattern was assessed by *in vitro* incubations of the feedstuff with a ruminal inoculum from calves subjected to the same feeding conditions. *In situ* degradability was also studied through the use of rumen-fistulated calves. No relevant differences were found in the fermentation parameters (gas production, *in vitro* degradability, concentration of volatile fatty acids and ammonia) within the energy range of the rations studied (0.96 to 1.05 CFU / kg DM). No effects due to the energy level on the *in situ* degradation kinetics were either detected. Expanded and granulated presentation improved the fermentation parameters (gas production, *in vitro* degradability) and the kinetics of *in situ* degradation. On the other hand, there were no significant changes in the molar concentration of volatile fatty acids and ammonia.

The second chapter verified the effect of the processing temperature in corn expanded, which is a major component of the rations used (40%), and on the final feedstuffs. As in the previous chapter, the methodologies used for this evaluation consisted of *in vitro* incubation techniques and the study of *in situ* degradability. The increase in temperature when expanding corn improved the kinetics of *in situ* degradation. Regarding *in vitro* fermentation parameters, no improvement was detected above 110°C. Expanded corn at

SUMMARY

120°C reduced the concentration of ammonia. This, together with the difficulties associated with the technological process, makes this option unviable at a practical level. The increase in temperature in the expanded feed process did not affect either the *in vitro* fermentation parameters or the *in situ* degradation kinetics.

In chapter three, different types of use of corn for animal feed were evaluated. The products with more humidity and harvested sooner, such as *pastone*, increased the metabolizable energy and its digestibility in relation to conventional grain corn, providing the advantage of a possible double crop at the agronomic level. In relation to the conventional *pastone*, the inclusion of the ear in the silage, *integral pastone*, reduced the availability of metabolizable energy but improved the fiber for the correct functioning of the rumen. *Integral pastone* is a valid ingredient for animal feed and the viability of its use in animal production should conduct an agronomical assessment. Finally, in chapter four the results from two consecutive fattening experiments (from 180 to 520 kg) are presented in Montsuà experimental farm owned by Ivars d'Urgell Cooperative. This farm with 4 pens (20 calves per pen) is equipped with an automated tunnel feeding system through which individual and *per visit* consumption could be obtained, as well as the live weight of the animals each time they ingested feedstuff. Two breeds of calves were studied: Holstein and Montbeliard. The calves were fed rations with 90% feedstuff and 10% straw. In this experiment, feedstuffs were also used with the three energy levels and the two forms of presentation studied in previous chapters. The energy level affected the average daily gain and conversion in the growing phase (180 to 400 kg BW), however, no effect was observed in the finishing phase (400 to 520 kg PV). The best productive results were found in the feedstuff with middle level of energy. This effect was consistent in both Holstein (1 CFU / kg DM) and Montbeliard breed (1.02 CFU / kg DM) although this effect was more evident in the Holstein breed. Overall, no differences were found in the feeding behavior of the animals fed with different energy levels. The form of presentation of the rations did not affect the average daily gain and conversion in the growth phase, but the expanded and granulated presentation increased the average daily gain and reduced the conversion in the finishing phase. No relevant differences were observed in the feeding behavior between breeds but a very important individual variability was detected in these parameters. The productive parameters (average daily gain and conversion) obtained by the Holstein and Montbeliard calves were much higher than those proposed in the most used rationing recommendations. The growth pattern of

Holstein calves had a turning point at 170 days of age. In contrast, Montbeliard calves had their maximum average daily gain at 240 days of age. The conversion rate in Montbeliard was better than in Holstein in the two fattening periods. In the growing phase Montbeliard breed had a conversion rate of 3.6 compared to 3.9 in Holstein breed. In finishing phase the difference was more important (6.3 in Montbeliard versus 7.7 in Holstein).

Keywords: Holstein, Montbeliard, *in vitro*, *in situ*, degradability, energy, presentation, pasture, calves, finishing.

1	INTRODUCCIÓN GENERAL	3
1.1	El sector vacuno de carne en España	5
1.2	El cebo de terneros.....	7
1.3	La alimentación en el cebo intensivo de terneros	12
1.4	Materias primas en los piensos de terneros de engorde.....	14
1.5	Tipos de procesados de los cereales.....	16
1.6	Efecto de la dieta sobre la fermentación ruminal.....	17
1.6.1	Bacterias Celulíticas	19
1.6.2	Bacterias amilolíticas	19
1.6.3	Bacterias Proteolíticas	19
1.6.4	Bacterias metánogenicas	20
1.7	Métodos de evaluación de la fermentación ruminal	20
1.7.1	Sistemas in vitro	20
1.7.2	Sistemas in situ.....	21
1.7.3	Comparativa entre sistemas.....	22
1.8	Referencias bibliográficas.....	23
2	OBJETIVOS	29
3	CAPÍTULO I – VALORACIÓN <i>in vitro</i> E <i>in situ</i> DEL NIVEL DE ENERGÍA Y EXPANDIDO EN CONCENTRADOS DE CEBO DE TERNEROS	33
3.1	Introducción	35
3.2	Objetivo	35
3.3	Material y métodos	36
3.3.1	Dietas experimentales y tratamientos.....	36
3.3.2	In vitro	38
3.3.3	In situ.....	41
3.3.4	Cálculos y Análisis estadístico	44
3.4	Resultados	45
3.5	Discusión	50

ÍNDICE

3.6	Bibliografía	53
4	CAPÍTULO II – VALORACIÓN <i>in vitro</i> E <i>in situ</i> DE PROCESADOS DEL MAÍZ Y EFECTO DE LA TEMPERATURA DE PROCESADO.....	59
4.1	Introducción	61
4.2	Objetivo	63
4.3	Material y métodos	63
4.3.1	Dietas experimentales y tratamientos.....	63
4.4	Resultados	65
4.5	Discusión	70
4.6	Bibliografía	72
5	CAPÍTULO III - In vitro AND In situ EVALUATION OF CORN, ENSILED AS HIGH MOISTURE GRAIN OR HIGH MOISTURE EAR CORN	77
5.1	Introduction.....	81
5.2	Materials and Methods.....	82
5.2.1	Incubation procedure in vitro	82
5.2.2	Incubation procedure in situ	83
5.2.3	Sampling and analyses	84
5.2.4	Calculations and statistical analysis	85
5.3	Results and discusion.....	87
5.4	Conclusions.....	90
5.5	Acknowledgments	90
5.6	References.....	91
6	CAPÍTULO IV - EFECTO DEL NIVEL DE NERGÍA Y DE LA PRESENTACIÓN DEL CONCENTRADO SOBRE LOS ÍNDICES PRODUCTIVOS Y DE COMPORTAMIENTO DE TERNEROS FRISONES Y MONTBELIARD	99
6.1	Introducción	101
6.2	Objetivos	102
6.3	Material y métodos	103

6.3.1	Dietas experimentales	103
6.3.2	Estación de alimentación automática	107
6.3.3	Análisis estadístico	108
6.4	Resultados	109
6.5	Discusión	123
6.6	Referencias Bibliograficas	126
7	DISCUSIÓN GENERAL	131
8	CONCLUSIONES	143

Tabla 1. Evolución de la productividad de la raza Holstein en España 2002-2017 (Conafe, 2017).....	12
Tabla 2. Características principales de los cereales más usados en los piensos para terneros	14
Tabla 3. Principales bacterias del rumen (Yokoyama y Johnson, 1988).....	18
Tabla 4. Valor nutricional estimado de los concentrados (% MF).....	36
Tabla 5. Composición de los concentrados (%) en función del nivel de energía.....	37
Tabla 6. Composición química de los tratamientos estudiados.....	37
Tabla 7. Composición de la solución mineral, solución tampón y solución reductora, utilizadas en el análisis <i>in vitro</i>	39
Tabla 8. Composición final de la solución de incubación para la técnica <i>in vitro</i>	40
Tabla 9. Fraccionamiento y tratamiento de conservación utilizado en los muestreos de la técnica <i>in vitro</i>	41
Tabla 10. Parámetros de cinética de degradación <i>in vitro</i> y estimación de la energía metabolizable en función del nivel de energía y el tipo de presentación.	45
Tabla 11. Parámetros de cinética de degradación <i>in vitro</i> en función del nivel de energía y tipo de presentación. AGV's 12 horas.....	47
Tabla 12. Parámetros de cinética de degradación <i>in vitro</i> en función del nivel de energía y tipo de presentación. AGV's 24 horas.....	48
Tabla 13. Parámetros de cinética de degradación <i>in situ</i> y estimación de la degradabilidad efectiva en función del nivel de energía y tipo de presentación.....	49
Tabla 14. Valor nutricional estimado del concentrado.....	63
Tabla 15. Ingredientes que componían el concentrado	64
Tabla 16. Composición química (% sobre MS) del maíz y concentrado tratados a diferentes temperaturas.....	64
Tabla 17. Parámetros de cinética de degradación <i>in vitro</i> y estimación de la energía metabolizable en función del producto expandido y de la temperatura de procesado. ..	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 18. Parámetros de cinética de degradación <i>in vitro</i> en función del producto y la temperatura de procesado. AGV's 12 horas.....	67
Tabla 19. Parámetros de cinética de degradación <i>in vitro</i> en función del producto y la temperatura de procesado. AGV's 24 horas.....	67
Tabla 20. Parámetros de cinética de degradación <i>in situ</i> y estimación de la degradabilidad efectiva.	69
Tabla 21. Chemical compositions of the experimental substrates (n = 6).....	95
Tabla 22. Gas production parameters, estimated metabolizable energy (ME; MJ/kg DM) and <i>in vitro</i> organic matter digestibility (IVOMD; g/kg DM), together with <i>in vitro</i> fermentation parameters such as ammonia-N (NH ₃ -N) and volatile fatty acids (VFA) concentrations.....	96
Tabla 23. <i>In situ</i> fermentation parameters and <i>in situ</i> degradability (%) of different corn products	97
Tabla 24. Composición de los concentrados en la raza Holstein en función del nivel de energía	104
Tabla 25. Composición de los concentrados en la raza Montbeliard en función del nivel de energía.....	105
Tabla 26. Valor nutricional esperado de los concentrados para la raza Holstein.....	106
Tabla 27. Valor nutricional esperado de los concentrados para la raza Montbeliard..	106
Tabla 28. Composición química de los concentrados para la raza Holstein	107
Tabla 29. Composición química de los concentrados para la raza Montbeliard	107
Tabla 30. Efecto de la raza y el nivel de energía sobre los índices productivos en la fase de crecimiento	110
Tabla 31. Efecto de la presentación sobre los índices productivos en la fase de crecimiento	111
Tabla 32. Efecto de la raza por el nivel de energía sobre los índices productivos en la fase de crecimiento	112
Tabla 33. Efecto de la raza y el nivel de energía sobre los índices productivos en la fase de cebo.....	113

Tabla 34. Efecto de la presentación sobre los índices productivos en la fase de cebo.	113
Tabla 35. Efecto de la raza por el nivel de energía sobre los índices productivos en la fase de cebo.....	114
Tabla 36. Efecto de la raza sobre los índices de comportamiento durante el engorde.	120
Tabla 37. Efecto de la energía sobre los índices de comportamiento durante el engorde	121

Figura 1. Mapa y tabla de censos provinciales de vaca nodriza y bovino de cebo en España (Fuente: Magrama)	7
Figura 2. Evolución de parámetros económicos de Granjas Típicas de vacuno de cebo entre el año 2009 y 2016 (Magrama, 2017)	9
Figura 3. Margen económico en granjas típicas de engorde en Europa 2005-2012 (€/100 kg canal) (Debliz y Dhuyvetter et al., 2013)	10
Figura 4. Precio de compra de los animales entrantes (€/cabeza y €/100kg) (Fuente: Magrama, 2017)	11
Figura 5. Protocolo temporal en la incubación de bolsas en la técnica <i>in situ</i> (E: entrada bolsa, S: Salida).....	43
Figura 6. Cinética de producción de gas <i>in vitro</i> en función del nivel de energía (1: baja; 2.media; 3: alta) y el tipo de presentación (F: harina; EG: expandido y granulado).....	46
Figura 7. Parámetros de cinética de degradación <i>in vitro</i> del nivel de energía (1: baja; 2.media; 3: alta) y el tipo de presentación (F: harina; EG: expandido y granulado). NH3 (mg/l)	49
Figura 8. Cinética de producción de gas <i>in vitro</i> en función del producto (CON: concentrado; ME: maíz expandido) y de la temperatura de expandido (100, 105, 110 y 120°C).....	66
Figura 9. Parámetros de cinética de degradación <i>in vitro</i> en función del producto (CON: concentrado; ME: maíz expandido) y de la temperatura de expandido (100, 105, 110 y 120°C). NH3 (mg/l)	68
Figura 10. Ganancia media diaria (kg) de la raza (a), (Holstein -□- ; Montbeliard -o--) y de la energía de la dieta (b), (Gr-Bajo ... , Gr-Medio — , Gr-Alto --). En la gráfica, las barras verticales indican el error estándar de la media.	115
Figura 11. Índice de conversión acumulado (kg/kg) de la raza (a), (Holstein -□- ; Montbeliard -o--) y de la energía de la dieta (b), (Gr-Bajo ... , Gr-Medio — , Gr-Alto --). En la gráfica, las barras verticales indican el error estándar de la media.	116
Figura 12. Margen Bruto (sin incluir costes mamonera) en función de diferentes escenarios de raza (Ho, Mb), edad sacrificio (270, 300, 330 y 360 días) y precio canal (3-3.6 €/kg).....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 13. Ratio Ganancia media diaria sobre energía de la ración (UFC) en las diferentes versiones del INRA y en los resultados del estudio	135
--	-----

ABREVIATURAS

Mcal: Mega caloría

MS: Materia Seca

UFC: Unidad Forrajera de Carne

FB: Fibra Bruta

FAD: Fibra Ácida Detergente

FND: Fibra Neutro Detergente

CNF: Carbohidratos No Fermentables

PB: Proteína Bruta

PDIA: Proteína Digestible Intestinal Alimentaria

PDIN: Proteína Digestible Intestinal por Nitrógeno

PDIE: Proteína Digestible Intestinal por Energía

CMV: Complemento mineral y vitamínico

MO: Materia Orgánica

EE: Extracto Etéreo

AGV's: Ácidos Grasos Volátiles

IVOMD: Degradabilidad *In vitro* de la Materia Orgánica

EM: Energía metabolizable

DE: Degradabilidad Efectiva

PV: Peso Vivo

GMD: Ganancia Media Diaria

CMD: Consumo Medio Diario

IC: Índice de Conversión

CV: Coeficiente de Variación

R1F: Concentrado harina energía baja

R2F: Concentrado harina energía media

R3F: Concentrado harina energía alta

R1EG: Concentrado expandido y granulado energía baja

R2EG: Concentrado expandido y granulado energía media

R3EG: Concentrado expandido y granulado energía alta

ME 100: Maíz expandido a 100°C

ME 110: Maíz expandido a 110°C

ME 120: Maíz expandido a 120°C

CON 100: Concentrado expandido a 100°C

CON 105: Concentrado expandido a 105°C

CON 110: Concentrado expandido a 110°C

CG: Corn grain

CS: Corn silage

HMG: High moisture corn grain silage

HME: High moisture ear corn silage

Ho: Holstein

Mb: Montbeliard

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 El sector vacuno de carne en España

Dentro de las producciones ganaderas, el sector de vacuno de carne en España es el tercero en importancia económica, por detrás del sector porcino y del sector lácteo, representando aproximadamente el 15% de la producción final ganadera (Magrama, 2015). Este sector se constituye de dos subsectores, las vacas nodrizas y el cebo de terneros. A diferencia del norte de Europa, donde son frecuentes las explotaciones de ciclo cerrado y extensivo, en España, las dos fases se desarrollan en explotaciones diferentes, en diferentes lugares geográficos, y con una fase de cebo intensivo.

El consumo per cápita en la Unión Europea (UE-28) en 2014 fue de 19,5 kg/año, cifra muy superior a la registrada en España para el mismo período (12,7 kg/año). Por otro lado, el censo nacional de vacuno está estabilizado en torno a los 6 millones de cabezas, representando un 6.9% del censo total de la UE-28 y siendo el quinto país en importancia por detrás de Francia (21.8%), Alemania (14.4%), Reino Unido (11%) e Irlanda (7.1%) (Magrama, 2015).

El objetivo de producción de este sector es suministrar terneros para la producción de carne. La primera fase de este proceso pasa por las madres de los terneros que serán engordados. Aquí se pueden diferenciar dos posibilidades. La primera, terneros procedentes de vacas de ordeño en los que el ternero es un co-producto de la producción de leche. La segunda, terneros procedentes de vacas de cría o vaca nodrizas, como normalmente se denomina a las hembras reproductoras en el argot comunitario, que adquieren este nombre por el hecho de amamantar a los terneros que paren, sin someterse en ningún momento al ordeño. Entre las vacas nodrizas destacan las razas autóctonas españolas (Avileña-Negra Ibérica, Asturiana de los Valles y Asturiana de la Montaña, Morucha, Retinta y Rubia Gallega) aunque también existen razas importadas como la Charolesa y Limusina y los cruces de éstas con las razas autóctonas (Acero Adámed, 2009). Pese a la importancia de las razas puras en este tipo de producción, según el último informe del Sistema Integral de Trazabilidad Animal (Sitran, 2018), el conjunto mestizo ya supone el 53.2% del total, con un censo de 1.065.420 vacas, un 7.6% más que en 2014. Destaca también el crecimiento de la raza Limusina, cuyo censo en 2014 era de 189.472 vacas y en 2017 se sitúa en 230.628, suponiendo el 11.5% del censo de nodrizas a nivel nacional. La siguiente raza en importancia es la Asturiana de los Valles, que con un

aumento de 10.010 vacas respecto a 2014, ha alcanzado un censo de 136.118, el 6.8% nacional. A continuación se encuentra la raza de Lidia, Rubia Gallega, Avileña-Negra Ibérica y Charolesa con el 4.2%, 4.0%, 2.8% y 2.6% sobre el censo total respectivamente.

Estas vacas nodrizas se localizan fundamentalmente en Castilla y León, Extremadura y Andalucía, seguidas por Galicia, Asturias y Cantabria (Figura 1). La producción se localiza en tres zonas: Dehesas, Galicia y áreas de Montaña del norte peninsular (Cantábrico, Pirineos, Sistema Central y Sistema Ibérico). En este sistema de producción los animales aprovechan los recursos naturales propios de la explotación, aprovechamiento de puertos, zonas boscosas y mixtas, y en épocas de escasez o inclemencias meteorológicas, se complementan con paja, forrajes conservados y algo de concentrado.

En cambio, las explotaciones de cebo están localizadas principalmente en el valle del Ebro y Castilla y León (Figura 1). De hecho, de las 10 provincias con más censo de vaca nodriza, solo dos se sitúan en el top 10 de censo de bovino en cebaderos, y además con censos muy inferiores a las provincias con más cebaderos. Así pues, el cebo de terneros en España se nutre de los terneros destetados de los 2 millones de vacas nodrizas (unos 1,1 millones de terneros considerando una fertilidad del 70% según (Sitran, 2018), una reposición del 15% y un 8 % de bajas hasta el destete), más los terneros procedentes de unas 0.85 millones de vacas de leche (unos 0,5 millones), más terneros procedentes de importación para engordar (cada año se importan unos 0.6 millones cabezas de bovino, de las que solo un 7% son reproductores).

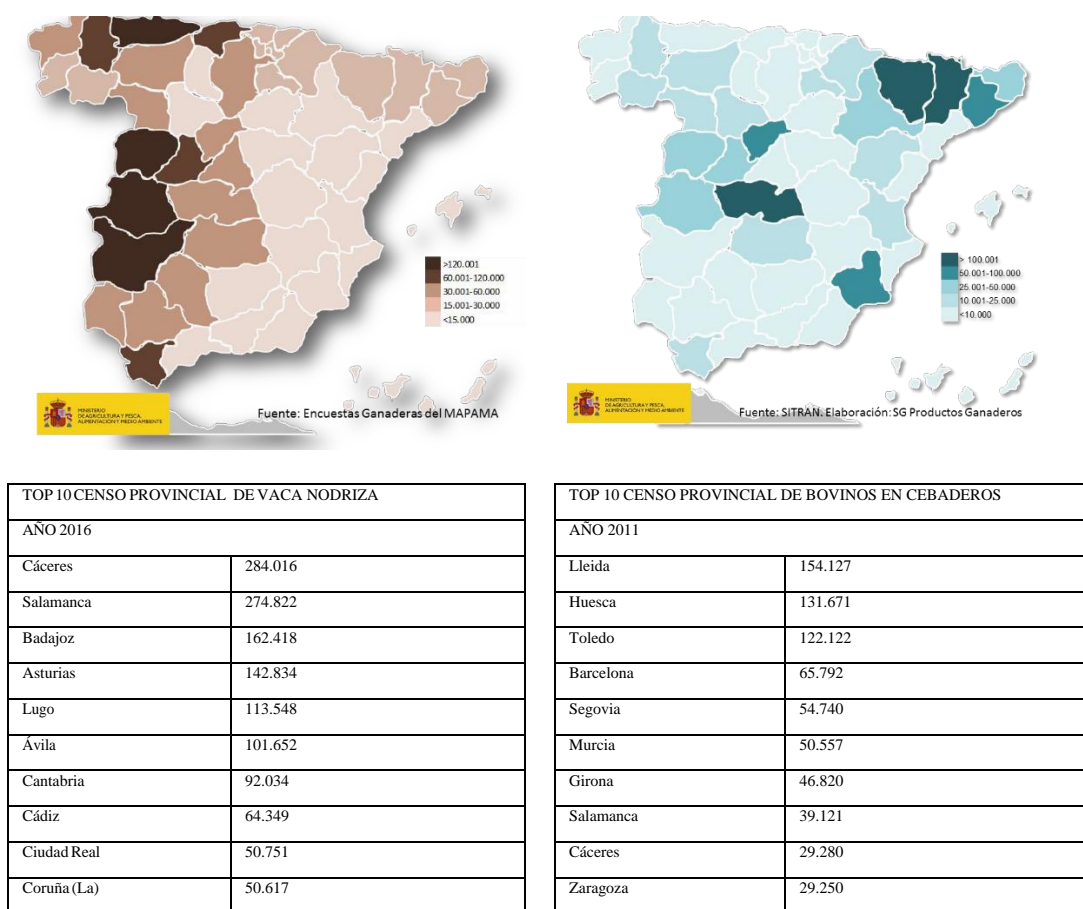


Figura 1. Mapa y tabla de censos provinciales de vaca nodriza y bovino de cebo en España (Fuente: Magrama)

1.2 El cebo de terneros

El origen de los terneros define la edad de entrada, la duración y el protocolo de engorde en cebaderos. Los terneros procedentes de las vacas nodrizas llegan a las explotaciones con 5-7 meses de vida (denominados *pasteros* al proceder en parte de vacas que han pastoreado dehesas o zonas montañosas). Los terneros procedentes de granjas lecheras llegan con una edad de entre 15 días y 2 meses (denominados *mamones* al incluir en su protocolo de alimentación una fase con lactación artificial).

Dependiendo del tipo de animal y el mercado se engordan hasta una edad y peso variable. Los terneros de razas cárnicas serán engordados hasta una edad superior al año, mientras que los de razas lecheras en general son sacrificados con menos de 1 año de vida.

El censo aproximado de terneros procedentes de vacas de leche en España es de 850 mil cabezas (Mapama, 2017). Considerando una reposición del 32% anual (Fefric, 2017), y que la proporción de sexos es del 50%, cada año se engordan aproximadamente 270 mil terneros machos de raza pura (mayoritariamente Holstein-Frisón), aproximadamente un 12% de las cabezas sacrificadas anualmente. Por tanto, y solo contabilizando los animales procedentes de granjas españolas, y sin tener en cuenta los animales cruzados, el ternero Holstein macho es el tipo genético mayoritario en los cebaderos españoles¹.

En algunas regiones y sistemas productivos la importancia del ternero Holstein es incluso superior. Por ejemplo, según datos de la Cooperativa d'Ivars d'Urgell, que sacrifica anualmente 30 mil terneros, un 50% de los animales sacrificados son Holstein, un 35 % animales cruzados ("de color" en la terminología ganadera) con aptitudes mixtas, y un 15% de animales cárnicos exclusivamente (Eliseu Isla, com. personal).

A nivel económico, la actividad de engorde de terneros basada en el sistema intensivo español tiene unos costes elevados, mientras que el precio de la carne es parecido al resto de Europa. En la Figura 2 se puede observar la evolución de parámetros económicos de granjas típicas de vacuno de cebo entre el año 2009 y 2016 (MAGRAMA, 2017). Aunque existen diferencias relevantes entre explotaciones, un buen número de las estudiadas se encuentra en beneficios muy bajos e incluso negativos en algunos años. Además cabe destacar que las que tienen un beneficio mayor (355-CYL y 200-GAL) tienen entre 50 y 100 € de pagos a la explotación (desacoplados) por 100 kg canal. En general, se puede apreciar una relación directa entre el nivel de costes de alimentación y el beneficio obtenido al ser este apartado uno de los más importantes en cuanto a costes.

¹ La generalización del uso del semen sexado en vacuno de leche puede reducir de forma importante el número de machos de raza pura Holstein que lleguen al engorde, pero siempre continuará habiendo animales con al menos un 50% de Holstein para engordar.

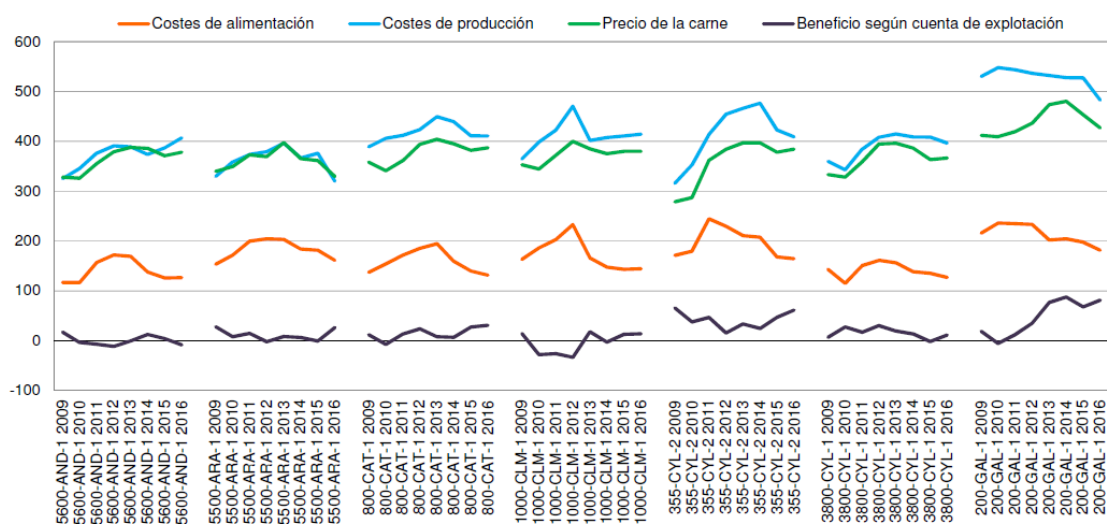


Figura 2. Evolución de parámetros económicos de Granjas Típicas de vacuno de cebo entre el año 2009 y 2016 (AND: Andalucía; ARA: Aragón; CLM: Castilla la Mancha; CYL: Castilla y León; GAL: Galicia) (Magrama, 2017)

Cabe destacar que, en otros sistemas de engorde de terneros del resto de Europa, el margen de beneficios es superior y consistente a lo largo de los años (Figura 3). Cuando se comparan los costes de producción entre las granjas típicas españolas y las que tienen mayor beneficio en Europa, se puede ver que los costes de compra de animales son muy parecidos entre sistemas (diferencias entre sistemas de entre un 30% máximo), mientras que en el caso de los costes de alimentación alguna granja típica española tiene hasta un 270% de los costes de alimentación de granjas francesas o inglesas (Debliz y Dhuyvetter, 2013).

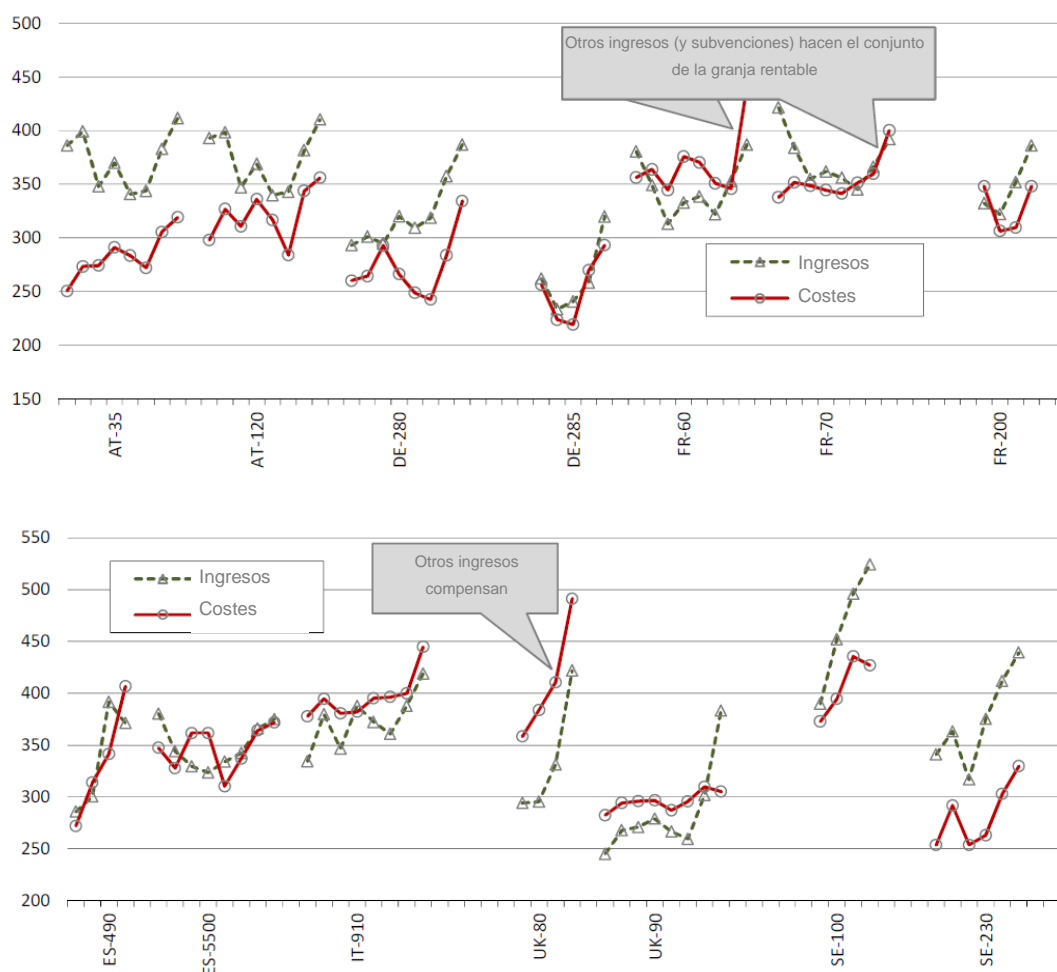


Figura 3. Margen económico en granjas típicas de engorde en Europa 2005-2012 (€/100 kg canal) (ES: España; IT: Italia; UK: Reino Unido; SE: Suecia)(Debliz y Dhuyvetter et al., 2013)

El segundo coste de producción más importante de las explotaciones de engorde de bovino proviene de la compra de animales. En función del coste de alimentación, los costes de compra de los animales suponen entre un 15 y un 60% de los costes de producción (Magrama, 2017). Evidentemente, el precio de compra por animal es muy diferente entre los mamones y los pasteros (Figura 4). Dentro de los mamones de origen nacional, los animales frisones tienen el menor coste, mientras que los animales cruzados tienen un precio superior. En cuanto a los pasteros, los de origen internacional tienen un valor ligeramente superior a los nacionales. Cuando se expresa por 100 kg de peso vivo, el coste de los pasteros nacionales es el más bajo (unos 250 €/100 kg), mientras que en el resto de grupos, los precios son muy variables, situándose entre los 350 y 450 €/100 kg.

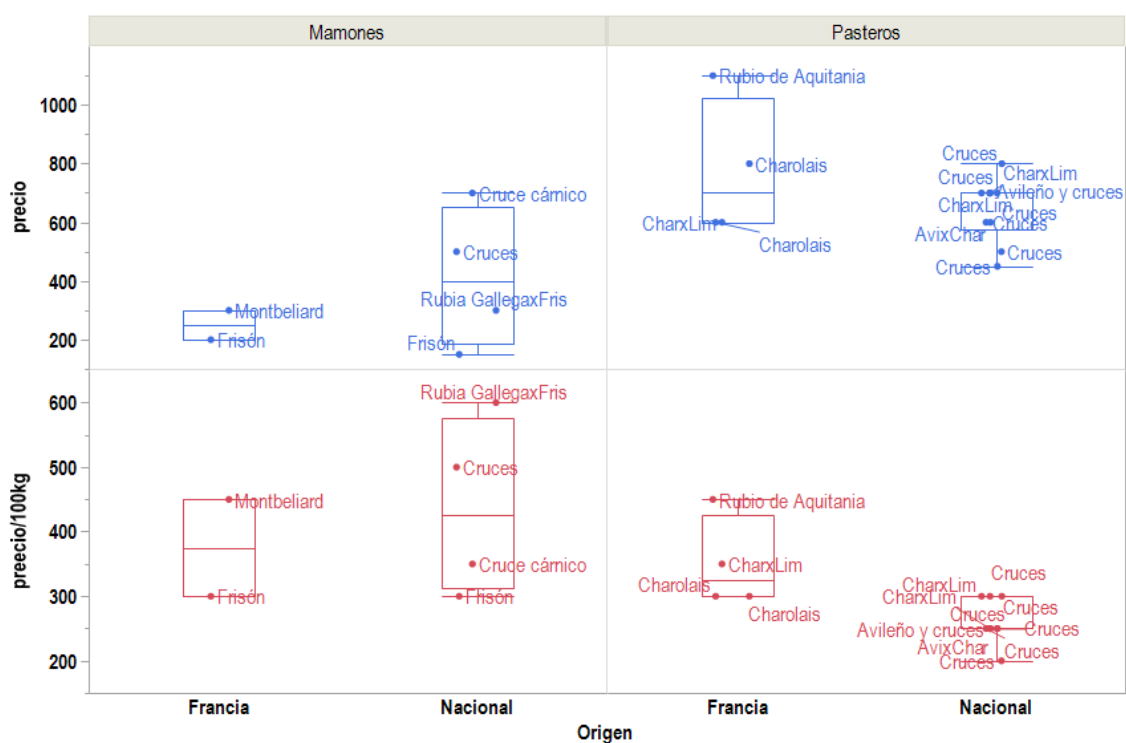


Figura 4. Precio de compra de los animales entrantes (€/cabeza y €/100kg) (Fuente: Magrama, 2017)

Como ya se ha visto, la genética Holstein tiene mucha importancia en los engordes españoles, y además su precio inicial puede ser más bajo que el de otros animales cruzados. La raza Holstein ha sido seleccionada de forma muy eficiente con el objetivo del incremento de la productividad y calidad de la leche (Conafe, 2017). Esta selección ha dado lugar a un tipo de animal con una gran precocidad, y una elevada producción de leche. A modo ilustrativo se presentan los resultados de productividad por lactación en la asociación CONAFE en los últimos 15 años (Tabla 1). Buena parte de este incremento de producción tiene una componente genética. El incremento de la eficiencia en producción de leche se puede explicar como resultado de cambios en la digestión y absorción de nutrientes, necesidades de mantenimiento, y utilización de energía metabolizable para la producción o partición de nutrientes (Bauman et al., 1985). Aunque los caracteres relacionados con el engorde no están siendo seleccionados en estas razas lecheras, la mejora de la eficiencia debe afectar de algún modo en el crecimiento de los terneros, a su precocidad y a su capacidad de ingestión.

Tabla 1. Evolución de la productividad de la raza Holstein en España 2002-2017 (Conafe, 2017)

Año	Lactación a 305 días				
	Kg leche	Kg grasa	Kg proteína	% grasa	% proteína
2017	10152	371	326	3.65	3.21
2002	8400	305	263	3.64	3.14
Variación 2002-2017	21%	22%	24%	0.3%	2%

1.3 La alimentación en el cebo intensivo de terneros

Lo terneros, como rumiantes que son, están preparados para aprovechar recursos forrajeros que otras especies no tienen capacidad de aprovechar. En el norte de Europa donde hay disponibilidad de recursos forrajeros a bajo coste, los terneros son engordados con raciones con elevado porcentaje de forrajes y en condiciones más extensivas. El sistema utilizado en el sur de Europa (España e Italia) es muy diferente que el del resto de Europa. En esta zona los recursos forrajeros son limitados, y por ello se ha cambiado a un sistema de alimentación basado en concentrado y un forraje de mala calidad para cumplir las necesidades ruminales. Este sistema se acerca al sistema americano de los “feedlot”² (Debliz y Dhuyvetter, 2013).

Económicamente, el sistema de engorde basado en pienso³ y paja es muy dependiente de la evolución de los mercados. La volatilidad del precio de las materias primas, combinada con un mercado de la carne poco estructurado sitúa, en algunos momentos, al sistema de engorde convencional al límite de la rentabilidad económica. Por eso, parte del sector está evolucionando hacia una alimentación en unifeed con inclusión de forrajes proteicos y alimentos como los cereales húmedos ensilados (*pastone*) para reducir el coste de alimentación y acercarse más al sistema “feedlot” americano.

La alimentación en rumiantes se basa principalmente en una correcta sincronización entre el animal y la flora simbiótica que se aloja en el rumen. Mientras el rumiante aporta

² Aunque los feedlot americanos incorporan un elevado porcentaje de concentrado en forma de granos de cereal, también incorporan forrajes secos o ensilados, diferenciándose así del sistema de pienso y paja.

³ Se utiliza pienso como sinónimo de alimento concentrado

alimentos y las condiciones adecuadas del medio, las bacterias ruminales utilizan parcialmente los alimentos haciendo útiles los forrajes (de otra forma indigestibles para los mamíferos) y aportando productos de la fermentación con valor nutritivo para el rumiante (ácidos grasos volátiles) y proteína microbiana de alto valor biológico.

El pH normal-óptimo en el rumen oscila entre 6,2 y 7,0, el pH y la ración es el factor que más influye su valor. La fermentación de hidratos de carbono no estructurales es energéticamente más eficiente, pero altamente acidogénica, y su aportación debe limitarse para limitar las acidosis clínicas como subclínicas (Casalmiglia, 2002).

Todas las raciones contienen un nivel básico de fibra físicamente efectiva para reducir el riesgo de acidosis ruminal subclínica y mejorar la función del rumen. Un pH inferior a 5 es considerado como acidosis clínica y la acción prolongada de un pH ruminal entre 5 y 5.5 (Nagaraja and Lechtenberg, 2007) es considerado acidosis subclínica. Este tipo de acidosis puede ser provocada por una producción elevada de ácidos grasos volátiles como resultado de una fermentación ruminal excesivamente rápida (Owens et al., 1997).

El riesgo de acidosis es tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad y la velocidad de degradación de los hidratos de carbono no estructurales. El potencial acidogénico de los diferentes ingredientes depende de la velocidad de degradación del almidón; su velocidad de degradación y degradabilidad efectiva real en los cereales de mayor uso son, ordenados de mayor a menor: avena, trigo, cebada, maíz y sorgo (Sniffen et al., 1992). Otro problema clínico a causa del cebo intensivo es el meteorismo o timpanismo que consiste en un desorden de los animales rumiantes causado por la retención de los gases de la fermentación microbiana, provocando una distensión anormal en el retículo-rumen (Clarke y Reid, 1974; Howarth et al., 1986; Cheng et al., 1998). Se relaciona la ingestión de grandes cantidades de cereales con una rápida fermentación. El uso de cereales cuyo almidón tiene alta degradabilidad en el rumen (80-90 % en el caso de trigo y cebada) incrementa el grado de incidencia de meteorismo.

Finalmente, el procesado de los cereales y piensos concentrados incrementa su degradabilidad y ritmo de fermentación, al incrementar la disponibilidad del almidón que a su vez acelera la producción de ácidos grasos volátiles, desembocando en una disminución del pH y un aumento de la viscosidad del líquido ruminal. Este incremento de la viscosidad es lo que permite la consolidación de la espuma presente en los animales con meteorismo (Casalmiglia, 2002, Cheng et al., 1998).

1.4 Materias primas en los piensos de terneros de engorde

En los sistemas de alimentación con pienso y paja a libertad los animales consumen aproximadamente un 90% de pienso. Entre el 70 y el 80% de este pienso son cereales o derivados de cereales. En la Tabla 2 se presentan las características de los cereales más utilizados en alimentación animal.

Tabla 2. Características principales de los cereales más usados en los piensos para terneros

Componente	Fuente		Maíz	Cebada	Avena	Trigo
EM (Mcal/kg)	FEDNA ²		2825	2705	2500	2800
EM (Mcal/kg)	FEEDIPEDIA ³	media	3275	2962	2914	3129
		mínimo	3248	1290	2651	2938
		máximo	3296	2962	3105	3511
PB (%)	FEDNA		7.3	10.4	9.9	13.8
PB (%)	FEEDIPEDIA	media	9.4	11.8	11.0	12.6
		mínimo	7.2	8.5	8.0	8.9
		máximo	12.4	16.1	14.7	19.2
Almidón (%)	FEDNA		63.8	51.9	36.1	56.0
Almidón (%)	FEEDIPEDIA	media	73.4	59.7	40.6	69.1
		mínimo	67.5	52.2	28.6	61.8
		máximo	78.8	66.8	51.6	74.9
Degradabilidad			++	+++	+	++++
Efecto procesado			++++	++	++	+
% límite inclusión ¹	FEDNA		40	40	25	25

¹ ternero en cebo de más de 150 kg de peso vivo

² FEDNA (2008)

³ Feedipedia. Animal feed resources information system. www.feedipedia.org

De los cereales incluidos en la Tabla 2, el maíz (*Zea mays*) es el ingrediente más utilizado en piensos compuestos de España (del orden de 4 millones de Tm/año). El maíz tiene un elevado valor energético, debido a su alto contenido en almidón y grasa, y su bajo nivel de fibra. El maíz es deficitario en proteína, que además no está bien equilibrada, especialmente en lisina y triptófano. La fracción nitrogenada del grano tiene una baja proporción de proteínas metabólicas solubles (albúminas y globulinas, 6%) y alta de proteínas de reserva (40% de glutelina y 54% de prolamina). Esto causa una baja degradabilidad de la proteína en rumiantes (45%) (Fedna, 2008).

La fermentabilidad ruminal del almidón es limitada (60%). Aumenta con el procesado, especialmente con tratamientos que incluyen vapor y presión, al aumentar la accesibilidad de los gránulos de almidón a la digestión microbiana. La digestibilidad total del almidón también mejora con el procesado del grano por molienda y más aún con calor, especialmente en ganado vacuno.

Tradicionalmente, el maíz que se incluye en los piensos para el engorde de terneros procede del proceso de recolección para grano, con un nivel de humedad del 14%. En otros sistemas de alimentación basados en mezclas completas (unifeed) también se incluye el maíz cosechado y ensilado con alto nivel de humedad, en estado lechoso-pastoso (*pastone*). El uso de *pastone* de maíz está bien documentado en engorde de terneros. Owens et al. (1997) en una completa revisión sobre el uso de cereales cosechados y conservados en diferentes condiciones ya presentaban más de 117 citas bibliográficas en las que se evaluaba maíz con alto contenido de humedad y ensilado. Además, esta variante de uso del maíz puede incluir sólo el grano o también la mazorca (*pastone* integral). La utilización en alimentación animal de este tipo de ensilado ha incrementado de forma notable en Europa (Francia, Alemania y Dinamarca) aunque mayoritariamente este aumento se ha descrito en ganado porcino (Danel et al., 2013). La novedad, en comparación con el uso anterior del *pastone*, es su incorporación como ingrediente en la fabricación de piensos.

La utilización de *pastone* en lugar de maíz grano tiene ventajas a nivel de nutrición animal, al conseguir un producto de elevada concentración energética (i.e superior al grano). Por tanto, su incorporación en piensos de engorde de terneros puede permitir una reducción del precio del pienso. El incremento de la demanda de este producto por parte

de fábricas de pienso (tanto para terneros como para cerdos) se combina con las ventajas que tiene a nivel agronómico, lo que hace que su producción este aumentando en zonas cerealistas. La cosecha temprana del maíz permite, por un lado, elegir variedades con ciclos más largos, con lo que se incrementa la producción. Además, se evita la necesidad del secado adicional que requiere, en muchos casos la cosecha de maíz grano. Pero la razón que, probablemente, lo hace más interesante a nivel agronómico, es la posibilidad de combinar el cultivo de maíz con un cultivo de invierno (i.e. ray-grass, Triticale etc), obteniendo una doble cosecha que optimiza la rentabilidad de la tierra.

1.5 Tipos de procesados de los cereales

La aplicación de los procesos tecnológicos que incluyen presión y temperatura cada vez son más utilizados para sacar el máximo partido a las materias primas. Además de la reducción del coste por kg de pienso, el aumento en el potencial genético de animales como la vaca de leche o el ternero de engorde, hace necesario maximizar la concentración energética y la digestibilidad de los piensos. La contrapartida de este incremento en la concentración energética y digestibilidad son los riesgos metabólicos en animales rumiantes.

Entre los procesos más habituales que se aplican a los cereales se encuentran:

- **Granulación:** La mezcla de materias primas una vez molidas finas (\varnothing 2,5 - 3 mm.) se acondiciona por adición de vapor hasta que la harina alcanza un 16- 18% de humedad. Posteriormente la harina atraviesa la matriz presionada por los rodillos y se compacta a su salida en forma de gránulos. El efecto de la granulación mejora la digestibilidad del almidón (10- 20%), aumenta la homogeneidad del producto, mejora la seguridad microbiológica, reduce las pérdidas en comedero e incluso mejora la conversión entre el 3-6% (Acedo-Rico, 2000).
- **Expansión:** En este proceso la harina de materias primas mezcladas se pasa a través del expander, que es un tubo cilíndrico con un tornillo interior que gira y hace que el producto friccionen con el interior de la camisa. En la fase primera se

adiciona vapor y otros líquidos que va luego amasándose con la harina hasta alcanzar la salida en donde hay una restricción mecánica por medio de una cabeza de compresión de apertura regulable. La expansión se produce por la depresión al salir el producto del interior del expander. Este equipo no puede dar forma al producto a su salida por lo que es frecuente que luego pase por granulación. La temperatura alcanzada a la salida puede ser de 90-120°C y la presión entre 50-70 bar. Este proceso también provoca la gelatinización parcial del almidón aumentando su digestibilidad.

- **Extrusión** Este proceso de expansión, pero a temperaturas y humedades más elevadas, es más usado en concentrados para animales monogástricos, especialmente mascotas, con poca capacidad de digerir el almidón. Es un proceso caro por su coste energético, pero tiene una gran efectividad para gelatinizar el almidón. Este proceso también favorece con la inclusión de altos niveles de grasa, y disminuye la humedad del producto final. Este procesado no es muy utilizado en animales de abasto y solo se usa en concentrados de alto valor para fases delicadas como pueda ser el pico de lactación de vacas lecheras.

1.6 Efecto de la dieta sobre la fermentación ruminal

En el rumen viven poblaciones microbianas simbióticas, tanto de bacterias como de protozoos y hongos. Los microorganismos tienen el beneficio de aprovecharse del ambiente idóneo para desarrollarse y acceder a ciertos nutrientes inaccesibles para el sistema digestivo del rumiante por falta de enzimas adecuadas (Ben-Ghedalia, 1981). A cambio, el animal rumiante se aprovecha de los productos de la fermentación y de la masa microbiana generada para cubrir las necesidades proteicas.

La cantidad de microorganismos en el rumen es de 10^{10} bacterias y 10^6 protozoos/ml (Czerkowsky, 1986), distribuyéndose en los ambientes que les sean más favorables como la fase líquida, sólida o la pared ruminal.

La mayor parte de microorganismos son anaerobios estrictos o facultativos, el oxígeno solo entra al interior con la ingestión de agua, durante la rumia o por difusión a través de la pared ruminal, el poco oxígeno que entra es rápidamente utilizado como donante de electrones (Van Soest, 1994).

Los microorganismos más abundantes del rumen, las bacterias, se pueden clasificar según el sustrato que utilizan, como muestra la Tabla 3.

Tabla 3. Principales bacterias del rumen (Yokoyama y Johnson, 1988)

Celulíticas	<i>Fibrobacter succinogenes</i> <i>Ruminococcus flavefaciens</i> <i>Ruminococcus albus</i>	Proteolíticas	<i>Ruminobacter amylophylus</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Streptococcus bovis</i>
Hemicelulolíticas	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Ruminococcus spp</i>	Productoras de NH₃	<i>Megaspharea elsdenii</i> <i>Selenomonas ruminantium</i> <i>Prevotella ruminicola</i>
Pectinolíticas	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Lachnospira multiparus</i> <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> <i>Treponema bryantii</i> <i>Streptococcus bovis</i>	Ureolíticas	<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> <i>Selemonas spp</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Ruminococcus bromii</i> <i>Butyrivibrio spp</i> <i>Treponema spp</i>
Amilolíticas	<i>Ruminobacter amylophylus</i> <i>Streptococcus bovis</i> <i>Succionomas amylolytica</i> <i>Prevotella ruminicola</i>	Utilizan lípidos	<i>Anaerovibrio lipolytica</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Treponema bryantii</i> <i>Eubacterium spp.</i> <i>Fusocillus spp</i> <i>Micrococcus spp.</i>
Utilizan azúcares	<i>Treponema bryantii</i> <i>Lactobacillus ruminus</i> <i>Lactobacillus vitulinus</i>	Productoras de CH₄	<i>Methanobrevibacter ruminantium</i> <i>Metanobacteriu formicicus</i> <i>Methanomicrobium mobile</i>
Utilizan ácidos	<i>Megaspharea elsdenii</i> <i>Selenomonas ruminantium</i>		

1.6.1 Bacterias Celulíticas

Son las bacterias responsables de la degradación de la fibra (constituyentes de la pared celular); dentro de estos hay grupos especializados en la fermentación de la celulosa: *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens*, o de la hemicelulosa: *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Prevotella ruminicola* y *Ruminococcus spp* (Fondevila y Dehority, 1994). Este tipo de especies muestran una mayor especialización sobre el sustrato que las bacterias que fermentan carbohidratos solubles. Este hecho limita su crecimiento en raciones ricas en carbohidratos solubles.

Se estima que a pH inferiores de 6 se reduce el crecimiento de las bacterias celulíticas, que resulta ser nulo a $\text{pH} \leq 5.6$. Por tanto, dietas elevadas en carbohidratos solubles, provocan un descenso de pH y reducen el nivel y la eficiencia de fermentación de la fibra. Las bacterias celulíticas son mayoritarias en dietas con altos porcentajes en carbohidratos estructurales, y sus enzimas, las celulasas, permiten la degradación de la fibra en disacáridos y componentes sencillos (Yokoyama y Johnson, 1988). Estas poblaciones tienen capacidad y preferencia por el amoníaco como fuente de nitrógeno y las cadenas de carbohidratos ramificados, procedentes de la desaminación de ciertos aminoácidos, actúan como factores de crecimiento.

1.6.2 Bacterias amilolíticas

Las bacterias amilolíticas tienen la capacidad de producir α -amilasa, enzimas extracelulares que les hacen capaces de degradar el almidón (Yokohama y Johnson, 1988). Estas bacterias las encontramos en raciones con un alto porcentaje de almidón, es decir, en dietas ricas en grano de cereal y el tipo de fermentación será más resistente a los cambios bruscos de pH. En el rumen existen más bacterias amilolíticas que celulíticas (Orskov y Ryle, 1990) y se asocian a altos niveles de ácido láctico, ya sea porqué son productoras o porqué limitan su absorción.

1.6.3 Bacterias Proteolíticas

La gran mayoría de especies bacterianas tienen la actividad proteolítica como predominante. Las especies más representativas son *Prevotella ruminicola*, *Butyrivibrio spp.* y *Ruminobacter amylophylus*. Estas bacterias utilizan los péptidos y los aminoácidos, que son degradados y desaminados hasta ácido carboxílico y amoníaco. Finalmente, este amoníaco se utiliza para la síntesis proteica con una alta eficiencia (mayor de 0,7; ARC,

1980). La actividad proteolítica es dependiente de la pared bacteriana y la mayoría de proteasas son peri-plasmáticas. Es necesario el contacto físico entre ambos y un 75% de la actividad depende de la microbiota adherida al sustrato.

1.6.4 Bacterias metánogénicas

Son las bacterias capaces de producir metano, pertenecen al grupo *Archaeobacterias* (Stewart, 1986) y su función consiste en unir hidrogeniones H_2^+ con CO_2 , produciendo metano, a costa de un gasto de energía. Pese al coste energético, este proceso permite el desarrollo de otros microorganismos o actividades como la fermentación de la celulosa al controlar el potencial redox y el pH del medio.

Las especies más adaptadas a las condiciones ruminales son las siguientes: *Methanosarcina*, *Methanomicrobium*, *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*. Estas son capaces de formar acetato a partir de propionato (Jouany, 1991). El propiónico no puede actuar como receptor de hidrogeniones, es decir, al aumentar la producción de éste disminuye la de metano.

1.7 Métodos de evaluación de la fermentación ruminal

Teniendo en cuenta la importancia de los costes de alimentación en el engorde de terneros, el reducido margen económico de este tipo de producción, y los cambios a nivel de tipos genéticos que se han producido en los últimos años, la evaluación de estrategias de optimización de los ingredientes para piensos se tiene que hacer, en el caso de un animal rumiante como el ternero, teniendo en cuenta la complejidad que supone la fermentación ruminal. Existen diferentes sistemas de evaluación de la fermentación ruminal, a continuación, se describen brevemente los utilizados en esta tesis.

1.7.1 Sistemas *in vitro*

Las técnicas de fermentación *in vitro* que utilizan incubaciones de sustratos con líquido ruminal se han usado ampliamente para evaluar el valor nutritivo de los alimentos de ruminantes. Las mediciones complementan el análisis de laboratorio estándar de composición química y, por lo tanto, ofrecen una alternativa rápida y menos costosa que la determinación de la digestibilidad de nutrientes *in vivo* (Rymer et al. 2005). Esta técnica

tiene gran reproducibilidad y permite probar una gran cantidad de tratamientos y aumentar la repetibilidad. También es usada para evaluar el potencial de la dieta, los ingredientes dietéticos y los modificadores de la fermentación ruminal para disminuir las emisiones de metano (CH₄) de los rumiantes (Bodas et al. 2008; Durmic et al. 2010).

Los inicios de las técnicas *in vitro* consistieron en mediciones de punto final de la degradación del sustrato (Tilley y Terry, 1963). Posteriormente, en los 70 se descubrió que combinando la medición de los gases y la composición química del sustrato se podía estimar tanto la energía metabolizable como la degradabilidad de la materia orgánica ruminal.

Una de las técnicas más usada fue el 'Hohenheim Gas Test' desarrollado por (Menke et al., 1979). La técnica consistía en fermentar el sustrato en una jeringa y la acumulación de gases forzaba el desplazamiento del pistón de la jeringa pudiendo calcular el volumen aumentado. Blümmel y Ørskov (1993) modificaron la técnica, haciéndola dinámica en el tiempo obteniendo la producción de gas a intervalos, técnica que se conoce como el estudio de la cinética de gases.

La cinética de fermentación *in vitro* cambió con Wilkins (1974) cuando desarrolló la fermentación en un recipiente cerrado con líquido ruminal, tampón y sustrato, y se midió la presión para medir la acumulación de gas en el espacio superior del recipiente. Este método fue modificado posteriormente por Theodorou et al. (1994) midiendo la presión del espacio. Se ha demostrado que una mayor presión dentro de la botella de fermentación afecta a los productos finales de fermentación (Jouany y Lassalas, 2002). Así que el gas debe ser recogido o descartado tras medir la presión periódicamente a través de una válvula solenoide (Cone et al., 1996; Davies et al., 2000) evitando así la acumulación de presión.

Los estudios *in vitro* pueden ser útiles para evaluar e informar sobre la idoneidad para una evaluación adicional *in vivo*, sin embargo, el resultado positivo *in vitro* no garantiza que el mismo tratamiento tenga un efecto similar *in vivo* (Yáñez-Ruiz et al. 2016).

1.7.2 Sistemas in situ

La técnica *in situ* es un procedimiento ampliamente adoptado para caracterizar la dinámica de la degradación de los piensos y sus componentes nutritivos en el rumen. Esta técnica es hoy en día probablemente la más utilizada para evaluación de piensos en

nutrición de rumiantes, pero para ello necesitamos tener animales canulados en el rumen. La dificultad de esta técnica pasa por conseguir una operación quirúrgica correcta y una recuperación óptima del animal. El método se basa en rellenar bolsas de nylon poroso con el tratamiento de estudio e incubarlas en el rumen de un animal fistulado en el saco dorsal del rumen (Azarfar, Poel, y Tamminga 2007). El objetivo de la técnica *in situ* es medir la tasa de desaparición de materia seca u otros nutrientes mediante la incubación de las bolsas. Con la extracción de las bolsas a diferentes tiempos se puede obtener la cinética de degradación. Aunque no tendremos todos los aspectos del sistema digestivo ya que obviamos la masticación y rumia, esta técnica ha sido utilizada para predecir la degradabilidad ruminal. No obstante, la técnica *in situ* también está expuesta a críticas por falta de homogeneización de la metodología. Uno de los puntos de falta de unificación es el diámetro del poro de las bolsas de nylon. Éste debe permitir tanto el paso de todos los microorganismos ruminales al interior como la salida de partículas digeridas. El aumento del tamaño de poro está asociado con mayores medidas de digestión (Nocek, 1988). La mayoría de bibliografía existente usa bolsas con diámetro de poro entre 40 y 60 mm (Vanzant et al., 1998).

Si tenemos en cuenta que en este proceso obviamos la masticación, otro punto crítico debe ser el tamaño de partícula de sustrato, algunos documentos de bibliografía recomiendan trabajar con forraje masticado (Nocek, 1988). En cuanto a cereales o concentrados que ya se ofrecen a los animales con tañamos de poro picado se recomienda un tamaño de partícula de 2 mm (Vanzant et al., 1998).

1.7.3 Comparativa entre sistemas.

El uso de animales para estudios científicos cada vez está más restringido y aumenta la regulación estricta de los procedimientos empleados para su uso. Así pues, existe una tendencia mundial en el uso de otras técnicas con el objetivo de reducir el uso de animales de experimentación. Los estudios *in vitro* e *in situ* tienen la ventaja de necesitar menos recursos animales.

Un sistema de fermentación artificial no puede imitar la fermentación ruminal *in vivo* en todos sus aspectos (Muetzel et al., 2009), pero se debe intentar representar de la forma más precisa. Cuando se comparan los dos métodos hay discrepancias en la bibliografía. Ziemer et al. (2000) presentan diferencias entre la microbiota ruminal del sistema *in vivo*

y la de sistema *in vitro*. Por lo contrario, estudios con sistema *in vitro* “Rusitec” no mostraron diferencias con los parámetros fermentativos *in vivo* (Gizzi et al., 1998). Strobel et al. (2008) demostraron que la diversidad y la abundancia de bacterias son similares en ambos sistemas.

1.8 Referencias bibliográficas

- Acedo-Rico, J. 2001. Seguridad alimentaria y fabricación de piensos compuestos. Influencia de la tecnología de fabricación y del diseño de fábricas. Publicaciones FEDNA.
- Acero Adámed, P., 2009. Planificación y manejo de la explotación de Vacuno. Consejería de Agricultura y Ganadería.
- A.R.C., 1980. The Nutrient requirements of ruminant livestock : technical review by an Agricultural Research Council working party, [new ed.]. ed. Slough : Published on behalf of the Agricultural Research Council by Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Azarfar, A., Poel, A.F.B. van der, Tamminga, S., 2007. The effect of sample grinding procedures after processing on gas production profiles and end-product formation in expander processed barley and peas. *J. Sci. Food Agric.* 87, 855–864. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2788>
- Bauman, D.E., McCutcheon, S.N., Steinhour, W.D., Eppard, P.J., Sechen, S.J., 1985. Sources of Variation and Prospects for Improvement of Productive Efficiency in the Dairy Cow: A Review. *J. Anim. Sci.* 60, 583–592. <https://doi.org/10.2527/jas1985.602583x>
- Ben-Ghedalia, D., 1981. Fate of digesta ribonucleic acid in small intestine of sheep. *J. Dairy Sci.* 64, 2422–2425. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82866-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82866-4)
- Blümmel, M., Ørskov, E.R., 1993. Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40, 109–119. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(93\)90150-I](https://doi.org/10.1016/0377-8401(93)90150-I)
- Bodas, R., López, S., Fernández, M., García-González, R., Rodríguez, A., J. Wallace, R., Gonzalez, J., 2008. *In vitro* screening of the potential numerous plant species as

- antimethanogenic feed additives for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* - ANIM FEED SCI TECH 145, 245–258. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.015>
- Calsamiglia, S., y Ferret, A. (2002). Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. XVIII Curso de Especialización. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). Eds. CP Ga Rebollar, GG De Blas y Mateos. Madrid, España
- Cheng, K.J., McAllister, T.A., Popp, J.D., Hristov, A.N., Mir, Z., Shin, H.T., 1998. A review of bloat in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76, 299–308.
- Clarke, R.T.J., Reid, C.S.W., 1974. Foamy Bloat of Cattle. A Review. *J. Dairy Sci.* 57, 753–785. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)84964-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)84964-7)
- Conafe, 2017. Confederación de Asociaciones de Frisona Española <http://www.conafe.com/> 27/05/2018
- Cone, J.W., Gelder, A.H. van, Visscher, G.J.W., Oudshoorn, L., 1996. Influence of rumen fluid and substrate concentration on fermentation kinetics measured with a fully automated time related gas production apparatus. *Anim. Feed Sci. Technol.* 61, 113–128. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(96\)00950-9](https://doi.org/10.1016/0377-8401(96)00950-9)
- Czerkawski, J.W. (1986) *Pergamon Press*, Oxford, UK.
- Danel, J., Callu, P., Samson, A. (, & Vilariño M. (2013). *The nutritional value of corn grains for growing pigs: influence of the way of preservation*. Obenido de http://old.eaap.org/Previous_Annual_Meetings/2013Nantes/Papers/Published/S30p_08.pdf
- Davies, Z., Mason, D., Brooks, A., Griffith, G., Merry, R., Theodorou, M., 2000. An automated system for measuring gas production from forages inoculated with rumen fluid and its use in determining the effect of enzymes on grass silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 83, 205–221. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00138-8)
- Deblitz, C., y Dhuyvetter, K. (2013). Beef and Sheep Network. Obenido de: www.agribenchmark.org/fileadmin/Dateiablage/B-Beef-and-Sheep/Working-Paper/bs05-USEU-neu.pdf.
- Durmic, Z., Hutton, P., Revell, D., Emms, J., Hughes, S., Vercoe, P., 2010. In vitro fermentative traits of Australian woody perennial plant species that may be considered

- as potential sources of feed for grazing ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* - ANIM FEED SCI TECH 160, 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.006>
- Fefric, Federació Frisona de Catalunya. www.fefric.com (08/07/18)
- FEDNA, 2008. Necesidades nutricionales para rumiantes de cebo. Normas FEDNA. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.
- Fondevila, M., Dehority, B.A., 1994. Degradation and utilization of forage hemicellulose by rumen bacteria, singly in coculture or added sequentially. *J. Appl. Bacteriol.* 77, 541–548. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1994.tb04399.x>
- Gizzi, G., Zanchi, R., Sciaraffia, F., 1998. Comparison of microbiological and fermentation parameters obtained with an improved rumen in vitro technique with those obtained in vivo. *Anim. Feed Sci. Technol.* - ANIM FEED SCI TECH 73, 291–305. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00150-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00150-3)
- Howarth et al. 1986. L.P. Milligan, W.L. Growum y A. Dobson (Eds.). Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. pp: 516-527.
- Jouany, J.-P., 1991. Rumen microbial metabolism and ruminant digestion. *Quae*.
- Jouany, J.P., Lassalas, B., 2002. Gas pressure inside a rumen in vitro systems stimulates the use of hydrogen. Presented at 3. Joint RRI-INRA Gastrointestinal Tract Microbiology Symposium. Beyond Antimicrobials
- Magrama, 2015. El sector de la carne de vacuno en cifras. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Centro de publicaciones. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia>. (26 enero 2016).
- Magrama, 2017. Informe Nacional de vacuno de carne 2017. RENGRATI. Madrid. España.
- Mapama, 2017. Sistema Integral de Trazabilidad Animal (SITRAN). Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia>. (26 febrero 2017).
- Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., Schneider, W., 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *J. Agric. Sci.* 93, 217–222. <https://doi.org/10.1017/S0021859600086305>

- Muetzel, S., Lawrence, P., Hoffmann, E.M., Becker, K., 2009. Evaluation of a stratified continuous rumen incubation system. *Anim. Feed Sci. Technol.* 151, 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.11.001>
- Nagaraja, T.G., Lechtenberg, K.F., 2007. Acidosis in Feedlot Cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract., Topics in Nutritional Management of Feedlot Cattle* 23, 333–350. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.04.002>
- Nocek, J.E., 1988. *In situ* and Other Methods to Estimate Ruminal Protein and Energy Digestibility: A Review. *J. Dairy Sci.* 71, 2051–2069. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79781-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79781-7)
- Orskov, E.R., Ryle, M., 1990. Energy nutrition in ruminants.,(Elsevier Applied Science: London).
- Owens, F.N., Secrist, D.S., Hill, W.J., Gill, D.R., 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 75, 868–879. <https://doi.org/10.2527/1997.753868x>
- Rymer, C., Huntington, J.A., Williams, B.A., Givens, D.I., 2005. In vitro cumulative gas production techniques: history, methodological considerations and challenges. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123–124, 9–30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.055>
- Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G., Russell, J.B., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70, 3562–3577. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>
- Stewart, C.S., 1986. Rumen function with special reference to fibre digestion. *Soc. Appl. Bacteriol. Symp. Ser.* 13, 263–286.
- Strobel, E., Seeling, K., Tebbe, C.C., 2008. Diversity responses of rumen microbial communities to Fusarium-contaminated feed, evaluated with rumen simulating technology. *Environ. Microbiol.* 10, 483–496. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01469.x>
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., France, J., 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the

- fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48, 185–197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Tilley, J.M.A., Terry, R.A., 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass Forage Sci.* 18, 104–111. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant.*, 2nd edn.(Cornell University Press: Ithaca, NY)
- Vanzant, E.S., Cochran, R.C., Titgemeyer, E.C., 1998. Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *J. Anim. Sci.* 76, 2717–2729.
- Wilkins, J.R., 1974. Pressure Transducer Method for Measuring Gas Production by Microorganisms. *Appl. Microbiol.* 27, 135–140.
- Yáñez-Ruiz, D.R., Bannink, A., Dijkstra, J., Kebreab, E., Morgavi, D.P., O’Kiely, P., Reynolds, C.K., Schwarm, A., Shingfield, K.J., Yu, Z., Hristov, A.N., 2016. Design, implementation and interpretation of in vitro batch culture experiments to assess enteric methane mitigation in ruminants—a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 216, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.016>
- Yokohama, M. T., Johnson, K. A. 1988. Microbiology of the rumen and intestine. In: *The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition.* Church, D.C. (Ed.). Prentice Hall. NJ. USA.
- Ziemer, C.J., Sharp, R., Stern, M.D., Cotta, M.A., Whitehead, T.R., Stahl, D.A., 2000. Comparison of microbial populations in model and natural rumens using 16S ribosomal RNA-targeted probes. *Environ. Microbiol.* 2, 632–643. <https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2000.00146.x>

2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Teniendo en cuenta el contexto en el cual se enmarca la producción de terneros de cebo actual en España, revisada en el apartado de Introducción, queda evidente la gran dependencia de este sistema de las materias primas constituyentes de los piensos concentrados utilizados. Este hecho, unido a la rápida evolución de los tipos genéticos en vacuno destinado tanto a leche como carne, hace imprescindible una actualización y análisis profundo de la información disponible hoy en día para la formulación de dichos piensos. Así pues, **el objetivo principal de esta tesis** es proponer alternativas para optimizar el engorde de terneros basado en raciones con un elevado porcentaje de concentrado. No obstante, teniendo en cuenta la gran cantidad de variables a escoger, y para poder dar respuestas que se pudieran aplicar directamente en el mundo comercial, planteamos enfocarnos en los dos principales factores que influyen en la rentabilidad de las explotaciones: el coste de alimentación y el tipo genético utilizado.

Este objetivo general (alternativas para optimizar el engorde de terneros) se puede desglosar en los siguientes objetivos particulares:

1. Estudiar el efecto de diferentes niveles de energía en las raciones sobre la degradabilidad, parámetros ruminales, rendimientos productivos y comportamiento de los terneros.
2. Analizar la influencia del tipo de presentación y tratamiento térmico del maíz y del pienso concentrado sobre la degradabilidad, parámetros ruminales, rendimientos productivos y comportamiento de los terneros.
3. Evaluar los diferentes tipos de aprovechamiento de la planta del maíz, incluyendo el ensilado de maíz en grano húmedo (*pastone*) sobre la degradabilidad y parámetros ruminales en terneros.
4. Estudiar los rendimientos productivos y comportamiento alimentario de terneros de raza Holstein y Montbeliard, razas representativas de los sistemas de engorde basados en terneros procedentes de vacas de aptitud lechera.

Los objetivos anteriores se abordarán mediante tres metodologías: técnicas *in vitro*, *in situ* e *in vivo*.

**3 CAPÍTULO I – VALORACIÓN *in vitro* E *in situ*
DEL NIVEL DE ENERGÍA Y EXPANDIDO EN
CONCENTRADOS DE CEBO DE TERNEROS**

3.1 Introducción

En la actualidad existen diferentes sistemas de alimentación para el engorde de terneros. La mayoría de terneros son engordados con un modelo altamente intensificado a base de pienso concentrado y paja (fuente de fibra de baja calidad y bajo precio). Este sistema potencialmente puede comprometer la salud ruminal del animal pero consigue los mayores índices productivos (Brown et al., 2006).

Los sistemas de racionamiento basan sus recomendaciones en el ajuste de las necesidades de nutrientes y el aporte que hacen las raciones. En una primera aproximación, las necesidades de los animales se expresan en forma de energía y proteína. En el caso del engorde de terneros las necesidades de energía son función de la raza y del crecimiento de los animales. La posibilidad de reducir el coste de alimentación ajustando al máximo el aporte de energía, o haciendo más accesibles los nutrientes para la digestión mediante el procesado previo de los alimentos, se tiene que valorar, en una primera aproximación, evaluando el efecto de estos cambios a nivel ruminal mediante metodologías *in vitro* e *in situ*. Los estudios *in vitro* e *in situ* además tienen la ventaja de necesitar menos recursos animales que los estudios *in vivo*.

Las técnicas de fermentación *in vitro* que utilizan incubaciones de sustratos con líquido ruminal se han usado ampliamente para evaluar el valor nutritivo de los alimentos de rumiantes. Los estudios *in vitro* pueden ser útiles para evaluar e informar sobre la idoneidad para una evaluación adicional *in vivo*, sin embargo el resultado positivo *in vitro* no garantiza que el mismo tratamiento tenga un efecto similar *in vivo* (Yáñez-Ruiz et al., 2016). La técnica *in situ* es un procedimiento ampliamente adoptado para caracterizar la dinámica de la degradación de los piensos, así como nutrientes en el rumen. Esta técnica es hoy en día probablemente la más utilizada para evaluación de piensos en nutrición de rumiantes, pero para ello necesitamos tener animales canulados en el rumen.

3.2 Objetivo

El objetivo del presente estudio es evaluar concentrados compuestos con diferentes niveles de energía y diferentes formas de presentación a partir de su estudio utilizando técnicas *in vitro* e *in situ*.

3.3 Material y métodos

3.3.1 Dietas experimentales y tratamientos

Los tratamientos experimentales analizados representan tres niveles de energía diferentes (Baja: 1 UFC, Media: 1.02 UFC y Alta: 1.05 UFC). Dentro de cada nivel de energía se estudió el efecto de dos formas de presentación, harina (Ha) y expandido más granulado posterior (Gr Ex). El tratamiento Gr Ex consistió en una aplicación de entre 107 y 120°C y entre 50 y 70 atmosferas de presión sobre el pienso previo a su granulación.

En la Tabla 4 y Tabla 5 se presentan el valor nutricional estimado y los ingredientes utilizados en el diseño de los tres niveles de energía, mientras que en la Tabla 6 se presenta la composición química de los 6 tratamientos resultantes de la interacción entre los niveles de energía y la forma de presentación.

Tabla 4. Valor nutricional estimado de los concentrados (% MF)

%	Nivel de energía del pienso		
	Baja	Media	Alta
MS	88.5	88.8	88.7
UFC	1.00	1.02	1.05
FB	5.0	4.9	4.6
FAD	6.9	6.5	6.0
FND	19.2	19.9	17.5
ALMIDON	40	40.3	40.7
CNF	45.1	44.1	45.6
PB	13.4	13.5	13.7
PDIA	4.2	4.4	4.8
PDIN	9.4	9.5	9.8
PDIE	9.4	9.5	9.8

Ms: Materia Seca; UFC: Unidades Forrajeras Carne; FB: Fibra Bruta; FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente; CNF: Carbohidratos no fermentables; PB: Proteína bruta; PDIA: Proteína digestible intestino alimentaria; PDIN; Proteína digestible intestino por nitrógeno; PDIE: Proteína digestible intestino por energía.

Tabla 5. Composición de los concentrados (%) en función del nivel de energía.

	Nivel de energía		
	Baja	Media	Alta
Algarroba	0.5	-	-
Maíz nacional	44.3	39.0	26.2
Cebada nacional 2c	5	19.5	36.5
Gluten feed	25	8	8
Harinillas trigo	15	10	8
DDGS Maíz	1.6	10	10
Melaza caña	3	3	1.3
Harina palmiste	1.7	5.2	3
Harina colza	0.7	-	0.8
Jabón cálcico	-	2	3.4
Aceite palma	-	-	-
Cascarilla de soja	-	-	-
Urea	-	0.4	0.5
Bicarbonato sódico	0.8	0.8	0.8
Carbonato cálcico	1.7	1.6	0.9
Sal	0.5	0.3	0.3
CMV 0.2%	0.2	0.2	0.2

CMV: Complemento mineral y vitamínico Baja: 1 UFC, Media: 1.02 UFC y Alta: 1.05 UFC

Tabla 6. Composición química de los tratamientos estudiados

	Harina			Expandido y Granulado		
	Baja (R1F)	Media (R2F)	Alta (R3F)	Baja (R1EG)	Media (R2EG)	Alta (R3EG)
MS %	88.25	88.75	88.53	88.98	89.37	89.77
EE %	5.27	5.76	6.98	5.33	6.23	6.93
PB %	14.88	13.12	13.10	14.11	14.17	14.17
C %	6.91	8.10	6.85	6.53	6.55	6.52
MO %	93.09	91.90	93.15	93.47	93.45	93.48
FB %	5.81	4.14	2.68	4.92	3.56	3.49
FND%	24.74	22.02	18.89	21.46	20.10	18.65
FAD %	9.99	7.69	6.08	8.14	6.71	6.08

Ms: Materia Seca; EE: Extracto etéreo; PB: Proteína bruta; C: Cenizas; MO: Materia orgánica; FB: Fibra Bruta FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente

3.3.2 *In vitro*

Para determinar el efecto los diferentes tratamientos sobre la cinética de fermentación ruminal se utilizó el sistema *in vitro* propuesto por (Theodorou et al., 1994). Este sistema se basa en la incubación de pequeñas cantidades de sustrato (i.e. 600 mg de MF) con contenido ruminal (inóculo) estabilizando los medios de cultivo mediante una solución tampón que permita mantener las condiciones de fermentación en unos rangos de pH adecuados.

Los parámetros indicativos de la fermentación ruminal que se determinaron son la cinética de producción de gas, la concentración y proporción molar de amoníaco (NH₃) y ácidos grasos volátiles (AGV's).

3.3.2.1 *Inóculo utilizado*

El estudio se realizó en 5 tandas temporales diferenciadas. En cada tanda se utilizaron como inóculo dos *pools* de contenido ruminal de 3 terneros diferenciados. El inóculo procedía de terneros procedentes de la granja experimental Montsuà de la Cooperativa d'Ivars, de raza Frisona de aproximadamente 300 kg de peso y 205 días de edad, alimentados con concentrado y paja *ad libitum*, siendo el concentrado el correspondiente al tratamiento R2EG. Para el muestreo de inóculo, los animales fueron inmovilizados y aproximadamente 200 mL de líquido ruminal fueron extraídos del saco ventral del rumen mediante una sonda esofágica conectada a una bomba de vacío. Se realizaron dos extracciones de 200 mL de líquido ruminal en cada animal: el líquido obtenido en la primera extracción se descartó (para evitar una posible contaminación por saliva que pudo haber quedado alojada en el interior de la sonda al atravesar la boca y el esófago de los animales) mientras que el de la segunda extracción se mezcló con el del resto de animales en termos de 2 litros previamente atemperados. Una vez en el laboratorio, el contenido ruminal se filtró (a través de una capa doble de tela) y se comprobó el pH (pH metro Crisol Ph-meter 2000, Crisol Instruments, Barcelona, España) de forma previa a su utilización.

3.3.2.2 *Incubación*

La preparación de las soluciones, los inóculos y el sistema de incubación se diseñaron a partir del protocolo descrito por (Theodorou et al., 1994). Como recipientes de incubación se utilizaron botellas de cristal (Pirex®), con una capacidad total de 120 ml y apertura

interna (19 mm Ø), que una vez preparadas y rellenas se cerraron con septos de butilo (13x19xH12, Hilversum, Holanda) provistos con cápsulas de aluminio (20 mm Ø).

La solución de incubación se distribuyó a razón de 80 ml/botella después de la adición de 600 mg de sustrato. Se calentaron las soluciones de incubación bajo un flujo de CO₂ para mantener los niveles de anaerobiosis, cuando la mezcla alcanzó los 38- 40°C, las botellas se llenaron con las soluciones de incubación atendiendo a las cantidades que figuran en la Tabla 8 y siempre manteniendo las soluciones en burbujeo constante de CO₂. Una vez se procedió al llenado de las botellas, se taponaron con los septos de butilo (13x19xH12, Hilversum, Holanda) y se sellaron con las cápsulas de aluminio. La incubación de las botellas se realizó en un isoterma de agua (Aqualine AL18, Lauda, Alemania y Precistern 6000140, J.P Selecta, S.A., España) mantenido a 39°C durante 48 horas.

La composición de las soluciones de incubación se presenta detallada en la Tabla 7. Así pues, la solución de incubación estuvo compuesta por las siguientes fracciones: i) Solución mineral, mezcla de macro-minerales y micro-minerales para mantener los procesos de fermentación; ii) Solución tampón, para regular el pH y evitar la acidificación; iii) Solución reductora, para mantener la anaerobiosis en la solución de incubación; iv) Agua destilada, para completar a un volumen constante.

Tabla 7. Composición de la solución mineral, solución tampón y solución reductora, utilizadas en el análisis *in vitro*.

Compuesto	Concentración(g/L)
<u>Solución mineral</u>	
Na ₂ HPO ₄	5.7
KH ₂ PO ₄	6.2
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0.6
<u>Solución Tampón</u>	
NaHCO ₃	35
(NH ₄) HCO ₃	4
<u>Solución reductora</u>	
HS-CH ₂ -CHNH ₂ -COOH	8.9
NaOH	46

Una vez pesados los componentes, estos se diluyeron hasta un volumen final de 2 L (solución mineral y solución tampón) o 260 mL (solución reductora), manteniendo la mezcla en agitación constante hasta su dilución completa (*circa* 20 minutos).

Tabla 8. Composición final de la solución de incubación para la técnica *in vitro*

Componente	Porcentaje (%)
Solución mineral	17
Solución tampón	17
Solución reductora	3.5
Líquido ruminal	20
Agua destilada	42.5
Total	100

Para cada tratamiento experimental se utilizaron 3 tiempos de incubación (12 y 24 h) y en cada tiempo se realizó un duplicado. Al mismo tiempo se incluyeron sus correspondientes blancos con los que se pudo identificar las concentraciones de los diferentes metabolitos originados en el propio inóculo y no derivados de la fermentación directa del sustrato. De esta forma, en cada tanda o serie experimental se utilizó el líquido de 2 “pools” de donantes de inóculo, donde en cada pool había 14 botellas (2 réplicas por seis tratamientos) más 2 blancos. El total de botellas por tanda fue de 28.

3.3.2.3 Toma de muestras y conservación

3.3.2.4 Fase gaseosa

En cada tanda, y durante el periodo de incubación (24 h), se determinó la producción de gas de forma indirecta a partir de las variaciones de presión (mBAR) registradas en el volumen remanente de las botellas mediante un manómetro portátil (DELTA OHM, HD2124.2, Caselle di Selvazzano, Italia) provisto de una sonda (TP704-2Bai DELTA OHM, Caselle di Selvazzano, Italia). Las determinaciones se realizaron a las 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 24 horas de incubación. Para determinar el volumen de gas producido,

previamente al experimento se realizó una curva de calibración estándar entre presión y volumen, utilizando el mismo tipo de botellas e inoculando cantidades crecientes de gas para obtener la correspondencia presión: volumen de gas.

3.3.2.5 Fase líquida

A las 0, 12 y 24 horas de incubación se muestreó el contenido total de dos botellas por tratamiento y dos blancos. En el momento previo a la apertura de la botella, se agitó suavemente y se determinó el pH (pH metro Crisol Ph-meter 2000, Crisol Instruments, Barcelona, España); posteriormente se procedió al muestreo de AGV's y NH₃ y su conservación utilizando las soluciones y sistemas de almacenamiento que presenta la Tabla 9. La concentración de NH₃ se determinó mediante el método (Chaney y Marbach, 1962) después de una centrifugación previa (25000 g, 20 min) con el objeto de descartar elementos sólidos. La concentración de ácidos grasos volátiles y el perfil de VFA molar se determinaron mediante cromatografía de gases según la técnica propuesta por (Jouany, 1982).

Tabla 9. Fraccionamiento y tratamiento de conservación utilizado en los muestreos de la técnica *in vitro*.

Parámetro	Solución conservante	Proporción	Almacenamiento
AGV's	-ácido orto fosfórico (20 ml/l)	4 /1	Congelación (-20°C)
	-ácido 4-metilvalérico (2 g/l)		
NH ₃	Ácido clorhídrico 0.5 N	2 /0.8	Congelación (-20°C)

3.3.3 *In situ*

3.3.3.1 Animales

Se utilizaron 6 terneros Holstein de procedencia francesa. Los terneros entraron a la granja con 100 kg de peso vivo y fueron sacrificados cuando los animales llegaron a su peso comercial de sacrificio (450 Kg de PV). En el momento del ensayo los terneros pesaban 400 kg aproximadamente. La dieta administrada durante la realización de la prueba consistió en concentrado y paja *ad libitum*. La formulación exacta del concentrado se correspondió con el tratamiento R2EG.

3.3.3.2 *Instalaciones*

El experimento se llevó a cabo en Ivars d'Urgell, en la Granja experimental Montsuà propiedad de la Cooperativa de Ivars d'Urgell. Los terneros fueron alojados de forma individual, cada corral dispuso de un sistema de comedero y bebedero individual.

3.3.3.3 *Canulaciones experimentales*

El procedimiento de canulación fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Lleida (CEEA. 01-07/16). Se implantaron cánulas flexibles (Bar Diamond Inc. 2004; Ø 8cm) al saco dorsal del rumen siguiendo el procedimiento propuesto por personal veterinario experimentado. Se consideró que los animales se habían recuperado y se podía iniciar el protocolo experimental cuando se alcanzaron los niveles previos de ingestión (7 días).

3.3.3.4 *Procedimiento experimental*

La degradabilidad ruminal de los tratamientos analizados se determinó a partir del procedimiento *in situ* o de las bolsas de nylon ® propuesto por (Ørskov y McDonald, 1979); este procedimiento se basa en la incubación ruminal de bolsas de nylon ® (SEFAR, Cardedeu, España) de 50 µm de diámetro de poro, que contienen cantidades conocidas de los alimentos a analizar (5-7 g MF); estas bolsas semipermeables permiten que el contenido ruminal (incluyendo las poblaciones microbianas que habitan) entren a la bolsa, interaccionen con el alimento y sus productos de fermentación puedan salir, con lo que al incubarlas en el rumen y extrayéndolas a tiempos concretos se puede determinar la desaparición de nutrientes y por tanto la degradabilidad del alimento estudiado.

3.3.3.5 *Preparación de las bolsas*

Las bolsas (5 x 10 cm) se lavaron y secaron (48 h a 60°C) y una vez secas e identificadas se llenaron con las muestras de los alimentos experimentales (5-7 g MF). Posteriormente se inició el proceso de incubación.

3.3.3.6 *Incubación de las bolsas*

Cada muestra del alimento fue incubada en los seis terneros canulados y se hizo por duplicado. Los tiempos de incubación de las bolsas en el rumen fueron de 0, 2, 4, 6, 12,

24, 48 y 72 horas. Las bolsas se introdujeron en el rumen de manera consecutiva, no simultánea. Las bolsas fueron cerradas herméticamente mediante una banda elástica que fue fijada sobre una cadena metálica (50 cm), la cual estaba fijada al tapón de la cánula, permitiendo un máximo 30 bolsas. Las cadenas que contenían los racimos de bolsas fueron introducidas en el interior del rumen siguiendo el calendario propuesto en la Figura 5.

PERIODO INCUBACIÓN	Horario		
	07:30-09:30	09:30-13:30	13:30-19:30
2h →	E: LUNES S: LUNES		
4h →		E: LUNES S: LUNES	
6h →			E: LUNES S: LUNES
12h →	E: LUNES S: MARTES		
24h →	E: MARTES S: MIÉRCOLES		
48h →	E: MIÉRCOLES S: VIERNES		
72h →	E: VIERNES S: LUNES		

Figura 5. Protocolo temporal en la incubación de bolsas en la técnica *in situ* (E: entrada bolsa, S: Salida).

Una vez se extrajeron las bolsas se sometieron a limpieza con agua para eliminar los restos de contenido ruminal; para ello se realizó un lavado a un flujo constante de agua destilada utilizando un proceso automatizado de limpieza (Jatta, 582. Abadiano, España). Una vez lavadas se procedió a su secado (48 h a 60°C) y pesaje para obtener su contenido en MS.

3.3.4 Cálculos y Análisis estadístico

3.3.4.1 *In vitro*

La energía metabolizable (EM) fue estimada a partir de la producción de gas a las 24 h (PG), la proteína bruta (PB), extracto etéreo (EE) y cenizas (C), a partir de las fórmulas propuestas por Menke (1988) según la ecuación 1.

$$(1) \text{ EM (MJ / kg MS)} = 2.20 + 0.136 \text{ PG} + 0.0057 \text{ PB} + 0.00029 \text{ EE}^2$$

El patrón de la Producción de gas se ajustó de forma iterativa (Procedimiento NLIN, SAS System). El modelo propuesto para la degradabilidad ruminal por (McDonald, 1981), modificado con: $i = a (1 - e^{b(t-c)})$, donde "i" es la producción de gas acumulada en un momento dado (ml); "a" es el potencial de producción de gas acumulado (ml/g MS); "b" es la tasa de producción de gas (ml/h); "t" es el tiempo de fermentación (h); y "c" es el tiempo de retardo (h). Tanto los parámetros "a", "b" y "c" de esta ecuación como la EM estimada se analizaron estadísticamente mediante un modelo mixto que incluyó el tratamiento y la tanda como efectos fijos, y el animal donante como efecto aleatorio. A partir de los diferentes modelos estadísticos se estimaron las medias mínimo cuadráticas de los diferentes efectos y se efectuaron separaciones de medias mediante el test t con un nivel de significación del 5%.

3.3.4.2 *In situ*

El patrón de la Producción de gas se ajustó de forma iterativa (Programa SAS NLIN). La cinética de degradación se ajustó con un modelo cinético de primer orden [$y = a + b(1 - e^{-ct})$], donde "y" era la materia seca degradada, "a" representó la fracción soluble de la MS, "b" la fracción no soluble pero potencialmente degradable y "c" el ritmo fraccional de degradación.

La degradabilidad efectiva se calculó a partir de la ecuación 2.

$$(2) \text{ DE} = a + (b \cdot c / c \cdot k)$$

La constante "k" se substituyó por un valor fijo teniendo en cuenta las diferentes fases productivas: $k = 0.02$ para animales en mantenimiento; $k = 0.05$ para animales en crecimiento o gestación y $k = 0.08$ para animales en lactación (ARC, 1980). Los parámetros del modelo (a, b y c) y la DE se estudiaron mediante un análisis de varianza donde la variable de estudio estaba explicada por el tratamiento. El análisis se realizó mediante el procedimiento GLM con el paquete estadístico SAS (versión 9.1, Cary, NC).

A partir de los diferentes modelos estadísticos se estimaron las medias mínimo cuadráticas de los diferentes efectos y se efectuaron separaciones de medias mediante el test t con un nivel de significación del 5%.

3.4 Resultados

En la Figura 6 se presenta la curva de producción de gas *in vitro* de los diferentes tratamientos estudiados. Se observan dos patrones diferenciados para las dos presentaciones del pienso. En cambio no se observan diferencias en el patrón de los diferentes niveles de energía dentro de tipo de presentación.

En la Tabla 10 se presentan los resultados del efecto de la presentación y el nivel de energía sobre los parámetros de cinética de degradación *in vitro*.

Tabla 10. Parámetros de cinética de degradación *in vitro* y estimación de la energía metabolizable en función del nivel de energía y el tipo de presentación.

	Harina			Expandido y Granulado		
	Baja (R1F)	Media (R2F)	Alta (R3F)	Baja (R1EG)	Media (R2EG)	Alta (R3EG)
a	218.1 a	208.9 ab	211.4 ab	189.6 c	189.3 c	199.7 abc
b	0.072 c	0.071 c	0.065 c	0.158 b	0.205 a	0.162 b
c	1.17 b	1.38 a	1.49 a	0.9464 c	0.9545 c	0.8268 c
IVOMD	74.14 b	74.1 b	75.02 b	77.72 a	75.62 b	79.11 a
EM	2.75 b	2.76 b	2.80 b	2.90 a	2.82 b	2.97 a

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (p<0.05)

"a" : potencial de producción de gas acumulado (ml/g MS); "b" : Tasa de Producción de gas (ml / h); "t" : Tiempo de fermentación (h); "c" : tiempo de retardo (h); "EM" :energía metabolizable ; "IVOMD" : Degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica

La aplicación del tratamiento expandido más granulado resultó en un descenso en el potencial de degradación (P<0.05); en cambio, no existieron diferencias entre los diferentes niveles energéticos del concentrado. La disponibilidad mayor de partículas en formato harina pudo favorecer este efecto diferencial entre harina y expandido. La tasa de producción de gas (b) fue superior en los tratamientos expandidos y granulados (P<0.05), efecto ligado a la velocidad de degradación de la digesta.

Al comparar los niveles de energías estimados a la hora de preparar las raciones experimentales (ver Tabla 4) con los resultados obtenidos del ensayo *in vitro*, se puede apreciar un leve descenso en los valores de energía calculada tanto como EN (Kcal como en UFC) de los lotes con formato harina. Sin embargo, en la Tabla 4 se muestran tan solo datos esperados previos a la fabricación del concentrado. El hecho de aplicar un tratamiento térmico a las raciones aumentó estadísticamente la disponibilidad de energía de las raciones. El nivel de energía obtenido mantuvo la relación planteada (alta > media > baja) en un inicio excepto en el caso del lote R2EG.

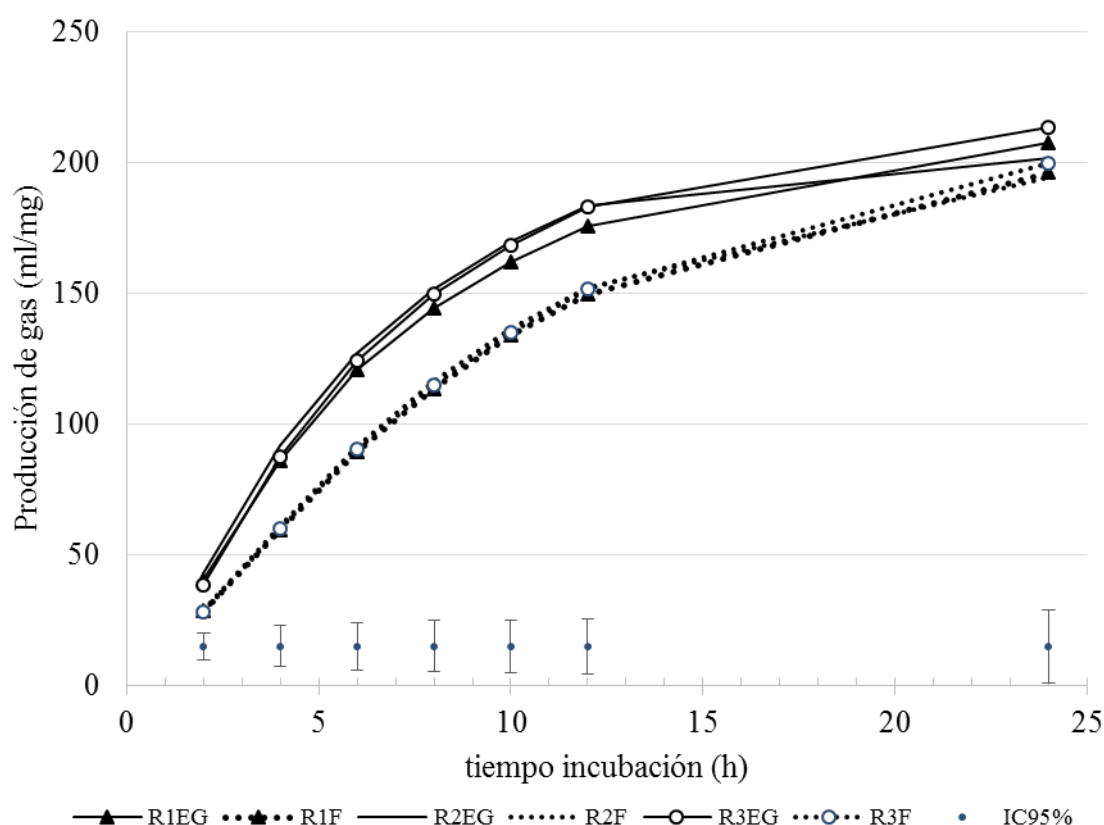


Figura 6. Cinética de producción de gas *in vitro* en función del nivel de energía (1: baja; 2: media; 3: alta) y el tipo de presentación (F: harina; EG: expandido y granulado)

En la Tabla 11 se presentan los resultados de AGV's totales y proporciones de los ácidos grasos volátiles mayoritarios después de 12 horas de fermentación. No se observaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros estudiados, aunque los valores numéricamente más altos se obtuvieron en R3EG.

Tabla 11. Parámetros de cinética de degradación *in vitro* en función del nivel de energía y tipo de presentación. AGV's 12 horas

	Harina			Expandido y Granulado			ES
	Baja (R1F)	Media (R2F)	Alta (R3F)	Baja (R1EG)	Media (R2EG)	Alta (R3EG)	
AGV's totales (mM)	59.9	57.6	57.5	60	65.3	55.8	4.84
mol/100 mol							
acetato	40.2	40.3	39.8	40.3	40.2	40.4	0.39
propionato	43.5	42.4	43	42.6	42.9	42.7	0.81
butirato	11	11.6	11.6	11.4	11.4	11.3	0.41
acetato/ propionato	0.953	0.974	0.948	0.964	0.959	0.965	0.018

ES: Error Estándar de la media.

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

En la Tabla 12 se presentan los resultados de AGV's totales y proporciones de los ácidos grasos volátiles mayoritarios después de 24 horas de fermentación, no obtuvo diferencias entre tratamientos. Podemos observar en la Tabla 11 y Tabla 12 las ratios acetato/propionato son sensiblemente bajos y se obtuvieron diferencias entre R1F y R3F ($p < 0.05$).

Tabla 12. Parámetros de cinética de degradación *in vitro* en función del nivel de energía y tipo de presentación. AGV's 24 horas

	Harina			Expandido y Granulado			ES
	Baja (R1F)	Media (R2F)	Alta (R3F)	Baja (R1EG)	Media (R2EG)	Alta (R3EG)	
AGV's totales (mM)	73.1	71	72	71.5	71.7	70.5	2.19
mol/100 mol							
acetato	39.3	39.1	39.1	38.7	39.2	38.6	0.27
propionato	41.5	40.5	41.7	41.4	41.4	41.9	0.71
butirato	12.4	13	12.4	12.7	12.3	12.6	0.35
acetato/ propionato	0.97 _{ab}	0.987 _a	0.961 _{ab}	0.958 _{ab}	0.969 _{ab}	0.948 _b	0.015

ES: Error Estándar de la media.

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (p<0.05)

En la Figura 7 se presentan los resultados de NH₃ después de 24 horas de fermentación. En los piensos compuestos de harina, al aumentar el nivel energético, disminuye la producción de amoníaco. Este efecto no se observó cuando se aplicó el tratamiento de granulado más expandido, no obstante, hay que señalar que los valores obtenidos en la prueba muestran unos niveles de producción de amoníaco no limitantes para la población microbiana usando dietas con proteína menor a la usada actualmente en granjas convencionales.

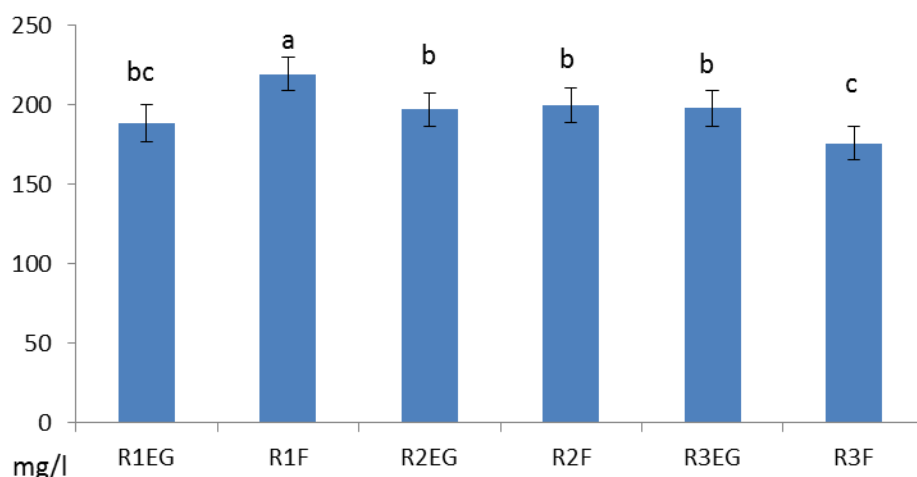


Figura 7. Parámetros de cinética de degradación *in vitro* del nivel de energía (1: baja; 2: media; 3: alta) y el tipo de presentación (F: harina; EG: expandido y granulado). NH3 (mg/l)

En la Tabla 13 observamos los parámetros de cinética de degradación con la técnica *in situ* y la degradabilidad con diferentes *k* valorando diferentes ritmos de tránsito.

Tabla 13. Parámetros de cinética de degradación *in situ* y estimación de la degradabilidad efectiva en función del nivel de energía y tipo de presentación

	Harina			Expandido y Granulado			ES
	Baja (R1F)	Media (R2F)	Alta (R3F)	Baja (R1EG)	Media (R2EG)	Alta (R3EG)	
a	26.01 _b	27.72 _b	25.71 _b	32.69 _a	31.02 _a	32.55 _a	0.889
b	69.67 _a	52.16 _{bc}	58.69 _{ab}	43.52 _c	46.58 _{bc}	47.6 _{bc}	4.904
c	0.03 _b	0.054 _{ab}	0.045 _{ab}	0.073 _a	0.059 _{ab}	0.059 _{ab}	0.011
DE0.02	59.24 _c	61.15 _b	61.39 _b	62.71 _{ab}	63.94 _a	63.74 _a	0.622
DE0.05	46.26 _c	50.1 _b	49.19 _b	54.07 _a	54.41 _a	54.72 _a	0.718
DE0.08	40.73 _c	44.71 _b	43.4 _b	49.48 _a	49.3 _a	49.82 _a	0.794

ES: Error Estándar de la media.

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

“a” Fracción soluble de la MS; “b” la fracción no soluble pero potencialmente degradable; “c” el ritmo fraccional de degradación y “DE” Degradabilidad efectiva a diferentes K: mantenimiento (0.02), crecimiento (0.05) y lactación (0.08).

La fracción soluble (a) fue superior en los tratamientos sometidos a procesamiento. En cuanto a la fase no soluble (b), en el formato harina se observó un efecto significativo hacia un aumento en el tratamiento de menor energía, un efecto que fue neutralizado por el procesado con expander. El efecto expander redujo la fracción no soluble pero tan solo encontrando diferencias significativas entre los tratamientos de baja energía entre sí y el tratamiento baja energía y formato harina con el resto de expandidos.

El parámetro c o ritmo fraccional de degradación solo mostró diferencias estadísticas entre el lote de energía baja y los dos tipos de presentación. Numéricamente fueron ligeramente superiores los ritmos fraccionales en los lotes procesados con expander coincidiendo con la superior tasa de producción de gas en el experimento *in vitro*.

En la degradabilidad efectiva encontramos diferencias estadísticas entre el lote bajo y el resto efecto que desaparece en los tratamientos con expandidos y granulados posteriormente. Se observó que los lotes con tratamientos térmicos aumentan entre 3-5% la DE 0.02, aumentando hasta 8-16% con una k del sistema de crecimiento nivel 0.05 y llegando a un máximo de diferencia con k de lactación de 10-21% favorable a los lotes procesados.

3.5 Discusión

En el experimento *in vitro*, los niveles de energía propuestos no indujeron ningún tipo de diferencias significativas en las variables analizadas. Esta falta de respuesta se puede atribuir a poca variación en el nivel de energía entre tratamientos (5%). El nivel máximo de energía utilizado, 1.05 UFC, es el nivel máximo recomendado por FEDNA, ya que la formulación de un concentrado con niveles superiores de energía es incompatible con el cumplimiento de las restricciones que garantizan la función ruminal normal (FEDNA, 2008). Por otro lado, el nivel bajo de energía utilizado en el presente estudio (1 UFC) es superior al valor mínimo recomendado por FEDNA. La razón de incluir este nivel superior a las recomendaciones fue de tipo práctico, ya que los niveles de crecimiento esperados para machos frisonos obtenidas en estudios anteriores, y en condiciones comerciales similares a las del estudio, eran superiores a las propuestas por las recomendaciones de FEDNA.

Con el objetivo de estudiar puramente el efecto del nivel de energía, se intentó mantener una relación PDIN/UFC constante; este hecho obligó a modificar el porcentaje de inclusión de diversas materias primas, que potencialmente pudieron afectar a la cinética

de degradación del pienso y a su degradabilidad. Así pues, al aumentar el nivel de energía, se puede observar una sustitución progresiva de maíz a cebada, además de un aumento en la proporción del uso de cereales (del 49.3 al 62.7%). Aunque la concentración final de almidón en la ración fue constante en los diferentes tratamientos, la variación del tipo de cereal pudo cambiar la cinética de degradación y la forma de absorción de los mismos (Dijkstra et al., 2012; González et al., 2012). Según (Seifried et al., 2016) el maíz presenta una velocidad de degradación total más lenta comparado con el trigo, con lo que la degradabilidad a medio plazo (correspondiente a animales en crecimiento, con un valor de $k = 0,05$) podría ser ligeramente inferior en el caso del maíz. En la misma línea, Brassard et al. (2015) también indicaron una velocidad de fermentación más lenta para el maíz, comparado con la cebada. La cebada presenta una mayor degradabilidad del almidón; por contra, el maíz tiene una menor degradabilidad pero una mayor cantidad total de almidón (Hindle et al., 2005; Huntington et al., 2006; Offner et al., 2003). Otros autores indican que la formulación con cereales de diferentes ritmos de fermentación es una estrategia para conseguir buenos resultados productivos (Barajas y Zinn, 1998). En ese aspecto se esperaba un aumento la tasa de producción de gas *in vitro* (parámetro b), según aumentara la inclusión de cebada en la ración; sin embargo no se observaron diferencias entre niveles de energía ni en el caso de la presentación en forma de harina, ni cuando se presentaron en forma de expandido/granulado, aunque si se observó un aumento de la velocidad al expandir/granular con respecto a la harina, con lo cual se puede inferir que el tratamiento indujo una mejora en la degradabilidad de alguno de los dos cereales. En el estudio *in situ* ese efecto también fue evidente, aunque con menor significación. La mayor degradabilidad de estas raciones es debida al almidón; al someter el grano a la humedad, la presión y el calor del expander, hace que los gránulos de almidón sean más accesibles para las bacterias (Huntington, 1997) y para las enzimas en el intestino (Nocek y Tamminga, 1991). Este efecto provoca la gelatinización y aumento de la digestibilidad de los almidones (Peisker, 1992). Según la estructura del almidón el expander tendrá más efecto o no sobre el cereal, en cereales de muy rápida degradabilidad (trigo o cebada) no tiene tanto efecto como en cereales de degradabilidad más lenta (maíz) (Tothi et al., 2003).

En general se observó una consistencia de los resultados entre el estudio *in vitro* e *in situ*; hay que tener en cuenta que la mayor parte de la bibliografía existente esta referenciada con animales que ingieren una base forrajera; en nuestro caso, los resultados fueron

obtenidos con animales adaptados a una dieta basada en un 90% de pienso concentrado y un 10% de paja, con lo que es de esperar que la estructura microbiana del rumen sea extremadamente distinta a la presente en animales alimentados con forraje. El inóculo representa la mayor fuente de variación en la fermentación del rumen, y el tipo de dieta es uno de los factores que más influencia ejerce sobre él (Balch et al., 1980). No obstante, el rol específico de la dieta sobre la capacidad fermentativa del inóculo aún se mantiene sobre debate (Nelson et al., 1972; Seradj et al., 2019). En un estudio que evaluaba ganado vacuno, (Grant et al., 1974) no encontraron diferencias entre las fuentes de fluido del rumen, pero los rumiantes filipinos fueron más capaces de digerir pastos tropicales comparado con vacas americanas.

Un aspecto importante a determinar cuándo se estudia la degradabilidad de un cereal, es la distribución óptima de la digestión del almidón entre el rumen y el resto de aparato digestivo (Reynolds et al., 2001). La degradación principal en rumiantes se produce en el rumen; sin embargo, el almidón disponible para la digestión y absorción en el intestino delgado presenta una mayor eficiencia energética. Una degradación ruminal insuficiente del almidón puede reducir la digestibilidad total del mismo y dañar la producción de proteína microbiana del rumen; por lo contrario, la excesiva degradación ruminal del almidón puede reducir la digestibilidad total de la fibra y reducir la absorción de glucosa en el intestino delgado ((Nocek y Tamminga, 1991; Stensig et al., 1998).

El aumento de la disponibilidad del almidón en el rumen puede ser positivo en ciertas circunstancias, asumiendo un valor de $k=0.05$ en terneros de cebo y basando la alimentación en pienso concentrado de partículas pequeñas y un nivel reducido de fibra, la estancia en el rumen del concentrado es menor a 24 horas; en este escenario, la producción de AGV's en el rumen es más costosa energéticamente para el animal, aunque necesaria para optimizar la síntesis de proteína microbiana. No obstante, una degradabilidad excesivamente alta en el rumen puede provocar posibles episodios de disbiosis como el timpanismo o acidosis, normalmente provocada por la alta velocidad de fermentación del almidón, que genera una cantidad de gas a una velocidad que el organismo no puede procesar. En nuestro estudio los valores numéricos más elevados de degradabilidad efectiva para $k=0.05$ correspondieron a los piensos expandidos/granulados.

La aplicación de un tratamiento térmico a los piensos aumentó estadísticamente la energía disponible de las raciones, aunque el tratamiento R2EG no presentó el mismo

comportamiento que el resto de piensos tratados térmicamente. En este aspecto, cabe incidir que los piensos a estudio fueron piensos comerciales de una empresa privada y dichos piensos fueron fabricados en grandes cantidades, con lo que hay ciertos resultados que han de asumirse como una falta de representatividad de la muestra o un error de laboratorio.

La fracción soluble (“a”) fue superior en los tratamientos sometidos a procesamiento térmico, aunque se podría esperar que la mayor cantidad de partículas de menor tamaño (finos) en los piensos en forma de harina aumentarían la fracción soluble, la bibliografía existente coincide con un aumento de la solubilidad (Offner et al., 2003) con la técnica expander aumentado la disponibilidad de los almidones de rápida degradabilidad y disminuyendo los factores anti-nutritivos.

La producción de AGV’s *in vitro* mostró unos niveles muy altos en butirato y propionato comparado con la mayoría de bibliografía existente (Garcia et al., 2017), lo que produjo una relación de acetato/propionato muy baja (en torno a 1). Podemos atribuir estos resultados a que los animales están adaptados a una dieta concentrada igual a los tratamientos usados, obtenemos unos resultados similares a (Devant et al., 2000; Rotger et al., 2006) con una dieta concentrada y niveles acetato/propionato cercano a 10. El incremento de la inclusión de cereal en la dieta promueve un aumento de ácidos grasos volátiles y una reducción de la ratio acetato/propionato (Huntington et al., 2006). De todas maneras, en ningún caso se observaron diferencias significativas entre las proporciones molares de los diferentes AGV’s analizados, ni a corto (12h) ni a medio plazo (24h). Los niveles de NH₃ son valores esperados, que no comprometen la vida de las bacterias ruminales (50 mg/l).

3.6 Bibliografía

- A.R.C., 1980. The Nutrient requirements of ruminant livestock : technical review by an Agricultural Research Council working party, [new ed.]. ed. Slough : Published on behalf of the Agricultural Research Council by Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Alsaffar, A.A., 2010. Effect of thermal processing and storage on digestibility of starch in whole wheat grains. *Journal of Cereal Science* 52, 480–485. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.08.002>
- Azarfar, A., Poel, A.F.B. van der, Tamminga, S., 2007. The effect of sample grinding procedures after processing on gas production profiles and end-product formation in expander processed barley and peas. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87, 855–864. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2788>

- Balch, C.C., Graham, M., Centre (Canada), I.D.R., Sciences, I.U. of N., 1980. Standardization of Analytical Methodology for Feeds: Proceedings of a Workshop Held in Ottawa, Canada, 12-14 March 1979. International Development Research Centre.
- Barajas, R., Zinn, R.A., 1998. The feeding value of dry-rolled and steam-flaked corn in finishing diets for feedlot cattle: influence of protein supplementation. *J Anim Sci* 76, 1744–1752. <https://doi.org/10.2527/1998.7671744x>
- Bodas, R., López, S., Fernández, M., García-González, R., Rodríguez, A., J. Wallace, R., Gonzalez, J., 2008. In vitro screening of the potential numerous plant species as antimethanogenic feed additives for ruminants. *Animal Feed Science and Technology - ANIM FEED SCI TECH* 145, 245–258. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.015>
- Brassard, M.-E., Chouinard, P.Y., Berthiaume, R., Tremblay, G.F., Gervais, R., Martineau, R., Cinq-Mars, D., 2015. Effects of grain source, grain processing, and protein degradability on rumen kinetics and microbial protein synthesis in Boer kids. *J Anim Sci* 93, 5355–5366. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9336>
- Brown, M.S., Ponce, C.H., Pulikanti, R., 2006. Adaptation of beef cattle to high-concentrate diets: performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 84 Suppl, E25-33.
- Castillo, C., Hernández, J., Méndez, J., Llana, J., Pereira, V., López-Alonso, M., Benedito, J.L., 2006. Influence of Grain Processing on Acid–Base Balance in Feedlot Steers. *Vet Res Commun* 30, 823–837. <https://doi.org/10.1007/s11259-006-3339-8>
- Chaney, A.L., Marbach, E.P., 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8, 130–132.
- Deblitz, C., y Dhuyvetter, K. (2013). Beef and Sheep Network. Obtenido de: www.agribenchmark.org/fileadmin/Dateiablage/B-Beef-and-Sheep/Working-Paper/bs05-USEU-neu.pdf.
- Devant, M., Ferret, A., Gasa, J., Calsamiglia, S., Casals, R., 2000. Effects of protein concentration and degradability on performance, ruminal fermentation, and nitrogen metabolism in rapidly growing heifers fed high-concentrate diets from 100 to 230 kg body weight. *Journal of Animal Science* 78, 1667. <https://doi.org/10.2527/2000.7861667x>
- Dijkstra, J., Ellis, J.L., Kebreab, E., Strathe, A.B., López, S., France, J., Bannink, A., 2012. Ruminant pH regulation and nutritional consequences of low pH. *Animal Feed Science and Technology, Special Issue: Rumen Health: A 360° Analysis* 172, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.005>
- Durmic, Z., Hutton, P., Revell, D., Emms, J., Hughes, S., Vercoe, P., 2010. In vitro fermentative traits of Australian woody perennial plant species that may be considered as potential sources of feed for grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology - ANIM FEED SCI TECH* 160, 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.006>
- García, U.A.G., Corona-Gochi, L., Flores, J.G.E., Amesquita, A., Ronquillo, M.G., 2017. RUMINAL AND INTESTINAL DIGESTION OF MAIZE (*Zea mays*) AND SORGHUM (*Sorghum bicolor* L. MOENCH) USING DIFFERENT

DIGESTIBILITY TECHNIQUES (IN VIVO, IN VITRO AND IN SACCO).
Tropical and Subtropical Agroecosystems 20.

- González, L.A., Manteca, X., Calsamiglia, S., Schwartzkopf-Genswein, K.S., Ferret, A., 2012. Ruminant acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). *Animal Feed Science and Technology*, Special Issue: Rumen Health: A 360° Analysis 172, 66–79. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.009>
- Grant, R.J., Soest, P.J.V., McDowell, R.E., 1974. Influence of Rumen Fluid Source and Fermentation Time on In Vitro True Dry Matter Digestibility1. *Journal of Dairy Science* 57, 1201–1205. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)85037-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)85037-X)
- Hindle, V.A., Van, A.M.V., Klop, A., Mathijssen-Kamman, A.A., Gelder, A.H.V., Cone, J.W., 2005. Site and extent of starch degradation in the dairy cow – a comparison between in vivo, in situ and in vitro measurements. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 89, 158–165. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2005.00560.x>
- Huntington, G.B., 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75, 852–867.
- Huntington, G.B., Harmon, D.L., Richards, C.J., 2006. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *J. Anim. Sci.* 84 Suppl, E14–24.
- Jouany, J., 1982. Volatile fatty acid and alcohol determination in digestive contents, silage juices, bacterial cultures and anaerobic fermentor contents [microbial fermentation, biological liquids, analytic method using gas-liquid chromatography]. *Sciences des Aliments*.
- Lundblad, K.K., Issa, S., Hancock, J.D., Behnke, K.C., Mckinney, L.J., Alavi, S., Prestløkken, E., Fledderus, J., Sørensen, M., 2011. Effects of steam conditioning at low and high temperature, expander conditioning and extruder processing prior to pelleting on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs and broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 169, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.06.008>
- McDonald, I., 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *The Journal of Agricultural Science* 96, 251–252. <https://doi.org/10.1017/S0021859600032081>
- Nelson, B.D., Ellzey, H.D., Montgomery, C., Morgan, E.B., 1972. Factors Affecting the Variability of An in Vitro Rumen Fermentation Technique for Estimating Forage Quality. *Journal of Dairy Science* 55, 358–366. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85497-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85497-3)
- Niu, Z.Y., Classen, H.L., Scott, T.A., 2003. Effects of micronization , tempering , and flaking on the chemical characteristics of wheat and its feeding value for broiler chicks. *Canadian Journal of Animal Science* 83, 113–121. <https://doi.org/10.4141/A02-075>
- Nocek, J.E., Tamminga, S., 1991. Site of Digestion of Starch in the Gastrointestinal Tract of Dairy Cows and Its Effect on Milk Yield and Composition. *Journal of Dairy Science* 74, 3598–3629. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78552-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78552-4)

- Offner, A., Bach, A., Sauvant, D., 2003. Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology* 106, 81–93. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00038-5)
- Ørskov, E.R., McDonald, I., 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science* 92, 499–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Owens, Fredric N., Secrist, D.S., Hill, W.J., Gill, D.R., 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J Anim Sci* 75, 868–879. <https://doi.org/10.2527/1997.753868x>
- Peisker, M., 1992. Improving feed quality by expansion. *International Milling Flour and Feed* 185, 15.
- Pipa, F., Frank, G., 1989. High-pressure conditioning with annular gap expander. A new way of feed processing. *Adv. Feed Technol.* 2, 22–30.
- Potts, S.B., Shaughnessy, M., Erdman, R.A., 2017. The decline in digestive efficiency of US dairy cows from 1970 to 2014. *Journal of Dairy Science* 100, 5400–5410. <https://doi.org/10.3168/JDS.2017-12641>
- Reynolds, C.K., Cammell, S.B., Humphries, D.J., Beaver, D.E., Sutton, J.D., Newbold, J.R., 2001. Effects of Postrumen Starch Infusion on Milk Production and Energy Metabolism in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 84, 2250–2259. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74672-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74672-3)
- Rotger, A., Ferret, A., Calsamiglia, S., Manteca, X., 2006. Effects of nonstructural carbohydrates and protein sources on intake, apparent total tract digestibility, and ruminal metabolism in vivo and in vitro with high-concentrate beef cattle diets. *J Anim Sci* 84, 1188–1196. <https://doi.org/10.2527/2006.8451188x>
- A.R.C., 1980. The Nutrient requirements of ruminant livestock : technical review by an Agricultural Research Council working party, [new ed.]. ed. Slough : Published on behalf of the Agricultural Research Council by Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Rymer, C., Huntington, J.A., Williams, B.A., Givens, D.I., 2005. In vitro cumulative gas production techniques: history, methodological considerations and challenges. *Animal Feed Science and Technology* 123–124, 9–30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.055>
- Seifried, N., Steingäß, H., Schipprack, W., Rodehutschord, M., 2016. Variation in ruminal in situ degradation of crude protein and starch from maize grains compared to in vitro gas production kinetics and physical and chemical characteristics. *Archives of Animal Nutrition* 70, 333–349. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2016.1215028>
- Seradj, A.R., De la Fuente, G., Villalba, D., Tor, M., García, C., Armengol, R., Costa, S. y Balcells, J., 2019. Uso del DAPA como índice corrector de la contaminación microbiana en el residuo de incubación en diferentes subproductos proteicos y ambientes ruminales. XVIII Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza, España, 7 y 8 de mayo de 2019.
- Solanas, E., Castrillo, C., Serrano, X., Janacua, H., Fondevila, M., Guada, J.A., 2005. Effect of concentrate extrusion and castration on diet digestion and performance

- of intensively reared male calves. *Livestock Production Science* 94, 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.12.003>
- Solanas, E.M., Castrillo, C., Jover, M., de Vega, A., 2008. Effect of extrusion on *in situ* ruminal protein degradability and *in vitro* digestibility of undegraded protein from different feedstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88, 2589–2597. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3345>
- Stensig, T., Weisbjerg, M.R., Hvelplund, T., 1998. Digestion and passage kinetics of fibre in dairy cows as affected by the proportion of wheat starch or sucrose in the diet. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science* 48, 129–140. <https://doi.org/10.1080/09064709809362413>
- Sterk, B., van Ittersum, M.K., Leeuwis, C., Wijnands, F.G., 2007. Prototyping and farm system modelling—Partners on the road towards more sustainable farm systems? *European Journal of Agronomy* 26, 401–409. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2006.12.006>
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., France, J., 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 48, 185–197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Tothi, R., Lund, P., Weisbjerg, M.R., Hvelplund, T., 2003. Effect of expander processing on fractional rate of maize and barley starch degradation in the rumen of dairy cows estimated using rumen evacuation and *in situ* techniques. *Animal Feed Science and Technology* 104, 71–94. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00292-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00292-4)
- Vicente, B., Valencia, D.G., Pérez-Serrano, M., Lázaro, R., Mateos, G.G., 2008. The effects of feeding rice in substitution of corn and the degree of starch gelatinization of rice on the digestibility of dietary components and productive performance of young pigs^{1,2}. *Journal of Animal Science* 86, 119–126. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-697>
- Weller, J.I., Ezra, E., 2008. Genetic analysis of the growth rate of Israeli Holstein calves. *Animal* 2, 12. <https://doi.org/10.1017/S1751731108003042>
- Yáñez-Ruiz, D.R., Bannink, A., Dijkstra, J., Kebreab, E., Morgavi, D.P., O’Kiely, P., Reynolds, C.K., Schwarm, A., Shingfield, K.J., Yu, Z., Hristov, A.N., 2016. Design, implementation and interpretation of *in vitro* batch culture experiments to assess enteric methane mitigation in ruminants—a review. *Animal Feed Science and Technology* 216, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.016>
- Zinn, R.A., Owens, F.N., Ware, R.A., 2002. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *J Anim Sci* 80, 1145–1156. <https://doi.org/10.2527/2002.8051145x>

**4 CAPÍTULO II – VALORACIÓN *in vitro* E *in situ*
DE PROCESADOS DEL MAÍZ Y EFECTO DE LA
TEMPERATURA DE PROCESADO**

4.1 Introducción

El maíz (*Zea mays*) se ha convertido en una de las plantas más usadas en alimentación animal en cualquiera de sus formatos: planta entera, grano húmedo o grano seco. En España se usan 4 millones tn/año para la producción de concentrados. El grano es muy apreciado por su alto valor energético, palatabilidad, escasa variabilidad de su composición química y bajo contenido en factores anti nutritivos (FEDNA, 2010).

Comparado con el resto de cereales, el maíz es el cereal con el grano de mayor valor energético, debido a su alto contenido en almidón y grasa, y su bajo nivel de fibra (Alsaffar, 2010); no obstante, tiene un nivel proteico bajo que no le ha impedido llegar a niveles de inclusión de más del 40% (FEDNA, 2010) en las nuevas fórmulas para rumiantes con niveles proteicos más ajustados. La fermentabilidad ruminal del almidón es limitada (60%) (FEDNA, 2010), pero aumenta con el procesado, especialmente con tratamientos que incluyen vapor y presión, al aumentar la accesibilidad de los gránulos de almidón a la digestión microbiana (Alsaffar, 2010). La digestibilidad total del almidón también mejora con el procesado del grano por molienda y más aún con calor, especialmente en ganado vacuno.

Los piensos concentrados se encuentran habitualmente en formato harina, migaja o granulado, siendo el granulado una alternativa al alza en los últimos años en deficiencia de la harina. El formato migaja es muy minoritario en terneros. Una de las ventajas más obvias asociada con la utilización de un pienso granulado es la disminución del desperdicio de pienso, ya que, con esta presentación, los animales tienen menor posibilidad de tirar el pienso de los comederos. La mejora del índice de conversión, junto con una reducción del desperdicio es suficiente incentivo económico como para justificar la compra de pienso granulado.

En los últimos años, la tecnología de tratamientos térmicos ha evolucionado de forma considerable sobre el condicionamiento de piensos compuestos. Esta evolución ha venido marcada por las exigencias sobre la calidad física, la mejora nutritiva, la higiene

microbiológica, así como la flexibilización en la incorporación de nuevas y variadas materias primas.

Por estas razones, la tradicional elaboración de piensos (molienda, mezclado y granulación) cede terreno ante las nuevas tecnologías (extrusión, expansión, doble granulación, etc.). En todos los casos, se trata de manejar a conveniencia los parámetros físicos: presión, temperatura y tiempo, que son los determinantes en un acondicionamiento. Todo ello va encaminado a obtener una buena calidad del gránulo, aspecto que cada vez adquiere más importancia tanto por razones comerciales, como por su influencia sobre los índices productivos.

Los tratamientos térmicos sobre materias primas o piensos concentrados pueden afectar las características de fermentación ruminal. La aplicación de calor y presión durante la granulación promueve la gelatinización del almidón, aumentando su posible fermentación (Solanas et al., 2008) y el riesgo de acidosis (Castillo et al., 2006).

En la bibliografía podemos encontrar referencias (Solanas et al., 2005) que demuestran que los tratamientos térmicos como la extrusión mejoran la utilización del almidón sin aumentar el riesgo de acidosis aguda, así como la granulación puede afectar por su reducción de partícula pero es contrarrestada por las características físicas del pellet y su mayor dificultad al acceso microbiano.

El tratamiento expander consiste en acondicionadores STHT (Short Time High Temperature). La expansión y la extrusión son procesos hidrotérmicos, que combinan el efecto de temperatura y presión del paso de la materia prima y tienen la ventaja que se puede incluir agua en la misma (Pipa y Frank, 1989).

La combinación de una granuladora con un expander ha abierto nuevas posibilidades para la elaboración de piensos por su capacidad para la incorporación de grandes cantidades de líquidos con la mejora de los aspectos físicos o higiénicos del pienso.

Al someter los almidones a calor y humedad se produce la gelatinización de los almidones (Peisker, 1992) que se completa a la salida del expander al producirse un descenso brusco de presión (expansión). Las ventajas de la gelatinización sobre el aprovechamiento de los almidones son relativas, pues aumenta la digestibilidad de los almidones y la velocidad de fermentación, pero combinada con el efecto de la granulación se crea una sinergia positiva.

4.2 Objetivo

El objetivo del presente estudio es evaluar la posibilidad a nivel de fábrica de piensos de la expansión del maíz (principal ingrediente de los piensos concentrado de ternero) o del pienso completo. Se evaluará el valor nutricional de dichos productos después de un proceso de expansión a diferentes temperaturas.

4.3 Material y métodos

4.3.1 Dietas experimentales y tratamientos

Los tratamientos experimentales analizados representan diferentes temperaturas de tratamientos térmicos sobre una materia prima como el maíz (ME: maíz expandido) y sobre un concentrado (CON). En las Tabla 14 y Tabla 15 se presentan el valor nutricional estimado y los ingredientes utilizados en el diseño del concentrado, mientras que en la Tabla 16 se presenta el valor nutricional de los 6 tratamientos mediante análisis NIRS.

El tratamiento de expandido consiste que una aplicación de entre 100 y 120°C y entre 50 y 70 atmosferas de presión sobre el pienso previo a su granulación.

Tabla 14. Valor nutricional estimado del concentrado

	%
MS	88.34
UFC	1.05
FB	4.99
FAD	6.53
FND	17.98
ALMIDON	42
CNF	45.69
PB	12.59
PDIA	4.41
PDIN	9.03
PDIE	9.03

MS: Materia Seca; UFC: Unidades Forrajeras Carne; FB: Fibra Bruta; FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente; CNF: Carbohidratos no fermentables; PB: Proteína bruta; PDIA: Proteína digestible intestino alimentaria; PDIN; Proteína digestible intestino por nitrógeno; PDIE: Proteína digestible intestino por energía.

Tabla 15. Ingredientes que componían el concentrado

	(%)
Maíz nacional	30.6
Cebada nacional 2c	27.4
Gluten feed	15
Harinillas trigo	10
Ddgs Maíz	12
Jabón cálcico	2.3
Urea	0.2
Bicarbonato sódico	0.8
Carbonato cálcico	1.2
Sal	0.3
CMV 0.2%	0.2

CMV: Complemento mineral y vitamínico

Tabla 16. Composición química (% sobre MS) del maíz y concentrado tratados a diferentes temperaturas.

	Maíz expandido			Concentrado expandido		
	100°C (ME100)	110°C (ME110)	120°C (ME120)	100°C (CON100)	105°C (CON105)	110°C (CON110)
MS	87.6	88.3	87.9	12.8	12.5	12.2
EE	6.0	4.4	4.1	7.4	7.1	6.9
PB	8.6	8.7	8.8	11.9	12.1	12.4
C	1.4	1.4	1.4	3.8	4.0	4.1
MO	98.3	98.6	98.5	96.2	96.0	95.9
FB	1.0	1.4	1.7	5.60	5.30	5.4

MS: Materia Seca; EE: Extracto etéreo; PB: Proteína bruta; C: Cenizas; MO: Materia orgánica; FB: Fibra Bruta FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente

Las técnicas *in vitro*, *in situ* y análisis estadístico son las descritas en los apartados del capítulo 3: In vitro (3.3.2), In situ (3.3.3) y Cálculos y Análisis estadístico (3.3.4)

4.4 Resultados

En la Tabla 17 se presentan los resultados del efecto de la presentación y el nivel de energía sobre los parámetros de cinética de degradación *in vitro*.

Tabla 17. Parámetros de cinética de degradación *in vitro* y estimación de la energía metabolizable en función del producto expandido y de la temperatura de procesado.

	Maíz expandido			Concentrado expandido			ES
	100°C (ME100)	110°C (ME110)	120°C (ME120)	100°C (CON100)	105°C (CON105)	110°C (CON110)	
a	201.34 _c	208.44 _{bc}	208.5 _{bc}	218.34 _a	210.3 _{abc}	214.67 _{ab}	3.210
b	0.223 _c	0.252 _b	0.269 _a	0.205 _d	0.194 _d	0.196 _d	0.005
c	0.834	0.836	0.849	0.952	0.938	0.932	0.043
IVOMD	75.56 _b	77.36 _{ab}	77.57 _{ab}	78.65 _a	75.32 _b	76.09 _{ab}	1.010
EM	3.26 _b	3.25 _b	3.24 _b	3.46 _a	3.32 _b	3.35 _{ab}	0.043

ES: Error Estándar de la media.

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (p<0.05)

"a" : potencial de producción de gas acumulado (ml/g MS); "b" : Tasa de Producción de gas (ml / h); "t" : Tiempo de fermentación (h); "c" : tiempo de retardo (h); "EM" :energía metabolizable ; "UFC" :Unidades Forrajeras de Carne

La temperatura no influyó significativamente sobre el potencial de degradación (a), aunque en el caso del maíz, se observa un incremento de este parámetro entre 100 y 110 °C de procesado. En el maíz (materia prima principal de las raciones), al aumentar de temperatura, aumentó la tasa de producción de gas. En el caso del concentrado, en cambio, no se observaron diferencias en el parámetro b.

Con relación a la energía metabolizable (EM) y la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (IVOMD), al aumentar la temperatura en los concentrados a 105°C y 110°C, se redujo el contenido energético (siendo la diferencia significativa entre 100 y 105°C,

$P < 0.05$). No se observó efecto del tratamiento térmico ($P > 0.05$) sobre la EM en el caso del maíz.

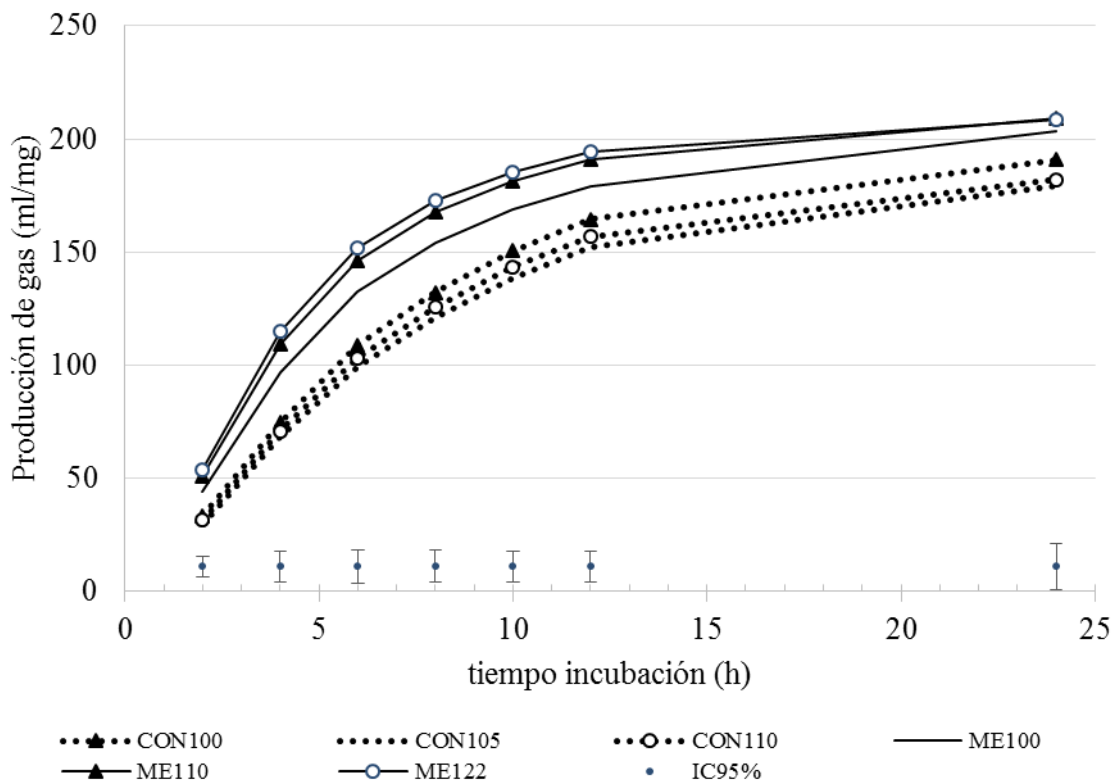


Figura 8. Cinética de producción de gas *in vitro* en función del producto (CON: concentrado; ME: maíz expandido) y de la temperatura de expandido (100, 105, 110 y 120°C)

En la Tabla 18 se presentan los resultados de AGV's totales y proporciones de los ácidos grasos volátiles mayoritarios a las 12 horas de fermentación. Se puede observar como el maíz es capaz de producir una superior cantidad de AGV's que la ración, siendo más evidente a una mayor temperatura del tratamiento. El tratamiento térmico solo tiene un efecto numérico en ambos casos (maíz y raciones). Los lotes de raciones obtuvieron un % superior en butirato ($P < 0.05$). En todos los tratamientos se observó una muy baja relación acetato/propionato (por debajo de 1), aunque no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos.

Tabla 18. Parámetros de cinética de degradación *in vitro* en función del producto y la temperatura de procesado. AGV's 12 horas

	Maíz expandido			Concentrado expandido			ES
	100°C (ME100)	110°C (ME110)	120°C (ME120)	100°C (CON100)	105°C (CON105)	110°C (CON110)	
AGV's totales (mM)	85.22 _{ab}	74.64 _{abc}	91.02 _a	54.17 _c	59.7 _{bc}	57.16 _{bc}	14.72
mol/100 mol							
acetato	41.11	40.49	40.08	36.78	36.93	36.77	4.06
propionato	43.54	43.66	43.3	44.06	43.89	44.34	2.63
butirato	10.29 _b	10.6 _b	10.77 _b	13.32 _a	13.19 _a	13.05 _a	1.1
acetato/ propionato	0.99	0.96	0.95	0.82	0.82	0.81	0.15

ES: Error Estándar de la media.

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (p<0.05)

Tabla 19. Parámetros de cinética de degradación *in vitro* en función del producto y la temperatura de procesado. AGV's 24 horas

	Maíz expandido			Concentrado expandido			ES
	100°C (ME100)	110°C (ME110)	120°C (ME120)	100°C (CON100)	105°C (CON105)	110°C (CON110)	
AGV's totales (mM)	86.2 _{ab}	80.62 _{ab}	90.18 _a	78.64 _{ab}	71.6 _b	72.16 _b	8.66
mol/100 mol							
acetato	39.89	39.75	36.7	34.27	34.85	35.06	3.87
propionato	42.06	42.15	42.28	43.96	42.97	43.12	2.47
butirato	11.53 _b	11.29 _b	12.37 _b	14.57 _a	15.13 _a	14.68 _a	1.13
acetato/ propionato	0.98	0.97	0.87	0.76	0.79	0.79	0.15

ES: Error Estándar de la media.

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (p<0.05)

En la Tabla 19 se presentan los resultados de AGV's totales y proporciones de los ácidos grasos volátiles mayoritarios a las 24 horas de fermentación.

Si observamos la evolución de la producción de AGV's entre Tabla 18 y la Tabla 19 en el maíz se limitó su crecimiento por contrario del CON que siguió aumentando la producción total de AGV's tan solo obteniendo diferencias estadísticas entre extremos (ME 120 vs CON 105-110°C). El tratamiento térmico no tuvo efecto en la producción de AGV's ($P < 0.05$). Siguiendo el patrón de las 12 horas los lotes de raciones obtuvieron valores más elevados de butirato.

En la Figura 9 se presentan los resultados de NH_3 a las 24 horas de fermentación.

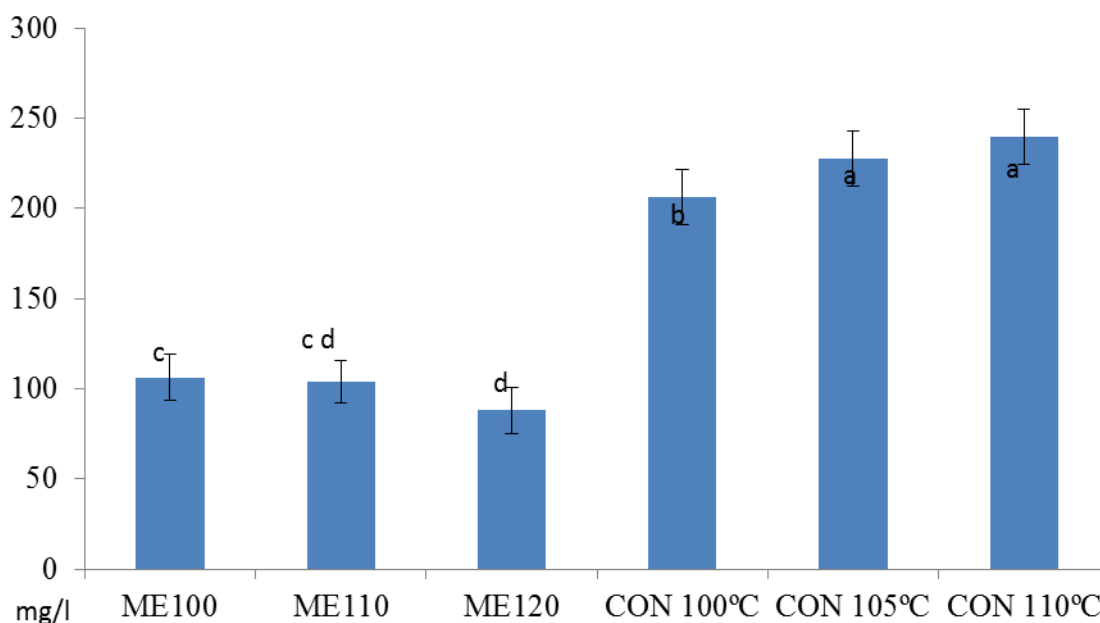


Figura 9. Parámetros de cinética de degradación *in vitro* en función del producto (CON: concentrado; ME: maíz expandido) y de la temperatura de expandido (100, 105, 110 y 120°C). NH_3 (mg/l)

El tratamiento térmico tiene tendencias inversas según materia prima o ración. En el maíz el hecho de aumentar la temperatura disminuye la producción de amoníaco por el contrario si aumentamos la temperatura de expandido en la ración esta aumenta la producción de NH_3 . Una vez superado el primer tratamiento térmico no se encuentran diferencias estadísticas al seguir aumentando la temperatura.

En la Tabla 20 observamos los parámetros de cinética de degradación con la técnica *in situ* y la degradabilidad con diferentes *k* valorando diferentes ritmos de tránsito.

Tabla 20. Parámetros de cinética de degradación *in situ* y estimación de la degradabilidad efectiva.

	Maíz expandido			Concentrado expandido			ES
	100°C (ME100)	110°C (ME110)	120°C (ME120)	100°C (CON100)	105°C (CON105)	110°C (CON110)	
a	23.03 _a	13.67 _b	12.26 _b	24.78 _a	27.12 _a	24.92 _a	1.58
b	48.01 _c	60.77 _a	63.13 _a	53.32 _{bc}	60.1 _{ab}	56.59 _a	2.52
c	0.265 _b	0.452 _a	0.488 _a	0.133 _c	0.1 _c	0.127 _c	0.04
DE0.02	65.56 _b	71.47 _a	72.49 _a	65.76 _b	65.06 _b	65.85 _b	0.69
DE0.05	60.2 _b	67.72 _a	68.82 _a	56.56 _c	53.17 _d	55.72 _{cd}	0.84
DE0.08	56.33 _b	64.48 _a	65.61 _a	51.29 _c	47.61 _d	50.32 _{cd}	0.99

ES: Error Estándar de la media.

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

“a” Fracción soluble de la MS; “b” la fracción no soluble pero potencialmente degradable; “c” el ritmo fraccional de degradación y “DE” Degradabilidad efectiva a diferentes K: mantenimiento (0.02), crecimiento (0.05) y lactación (0.08).

La fracción soluble fue superior en los tratamientos CON y ME100. En cuanto al efecto del procesamiento térmico se observaron diferencias estadísticas en el maíz, de manera que al aumentar la temperatura hasta 109°C, la fracción soluble disminuyó, pero al seguir aumentando la temperatura no supuso mayores diferencias estadísticas.

Con un efecto inverso a la fracción soluble, la fracción no soluble aumentó con el incremento de temperatura en ambos casos (maíz y concentrado). El procesamiento a temperatura más alta (120° en maíz y 110 en concentrado) no supuso un incremento significativo del parámetro b.

El ritmo fraccional de degradación mostró diferencias estadísticas entre el maíz y el concentrado, siendo muy superior en maíz, debido a su alto contenido en almidón y a su rápida degradabilidad. El efecto de la temperatura no causó diferencias en el concentrado, por contrario el aumentar temperatura en el maíz aumentó casi el doble el ritmo fraccional.

En cuanto a las degradabilidades efectivas en todas se observa el mismo efecto con unas degradabilidades menores al aumentar el ritmo de tránsito. En el concentrado, que es la base de una ración comercial, no se observa efecto de la temperatura sobre la DE. En el caso del maíz, tiene mayor degradabilidad que el concentrado, y se observa un incremento estadísticamente significativo de la degradabilidad al aumentar la temperatura de expandido, aumentando hasta un 10 % por el aumento del procesado térmico.

4.5 Discusión

Los resultados se discuten de forma genérica porque son consistentes y equivalentes entre ambas técnicas: *in vitro* e *in situ*, aunque en la evaluación *in situ* obtuvimos más diferencias estadísticamente significativas mientras que en la evaluación *in vitro* tan solo fueron diferencias numéricas.

El tratamiento térmico de cereales es uno de los procesados que se puede realizar para mejorar la disponibilidad de nutrientes en piensos para animales. Pero su efecto es diferente en función del tipo de cereal (Vicente et al., 2008), del tipo de animal (Lundblad et al., 2011), y del tipo de tratamiento térmico. Owens et al. (1997) concluyeron que, para un tipo de cereal y un método de procesado, la fuente de forraje y la humedad pueden influir notablemente en el rendimiento de los animales y en el valor de energía metabolizable del cereal, probablemente debido a los efectos sobre el manejo de la ración, la aceptabilidad de la dieta, el grado de masticación y rumia, y el sitio y la extensión de la digestión de almidón.

En este caso, cuando se efectúa un tratamiento térmico mediante la utilización del expander y la materia prima es el maíz, observamos un aumento de la degradación potencial cuando se aumenta la temperatura de 100 a 110 °C. En otros estudios *in vitro* e *in vivo*, el aumento de la temperatura de procesado en el maíz aumenta el ritmo de degradación, aunque no aumente significativamente el potencial de degradación (Azarfar et al., 2007). En nuestro estudio el incremento a 120 °C no mejora la degradabilidad del producto ni *in vitro* ni *in vivo*. En cambio, en otros estudios como los efectuados en EEUU con el método steam fleaking que usa mayores temperaturas y presión aumenta los potenciales de degradación. El tratamiento térmico de 120 °C produce un efecto negativo según (Niu et al., 2003) que explica que es posible que las temperaturas más altas causen la formación de complejos de polisacáridos sin almidón en las paredes de las células de granos a los nutrientes de una manera que afecte su utilización.

El procesado por expandir de la materia prima del maíz aumentó un 20% de energía metabolizable en comparación con maíz grano estándar usado para alimentación animal de la bibliografía encontrada, efecto parecido al obtenido por otros autores (Owens et al., 1997; Zinn et al., 2002).

El efecto temperatura sobre el nivel de NH_3 es inversamente proporcional con el aumento de la temperatura, entre los lotes 100 y 110 °C no hubo diferencias, pero al calentar hasta 120°C disminuyó la producción de NH_3 . Este efecto puede explicarse por las reacciones Maillard que ocurren a elevadas temperaturas. Estas reacciones tendrían como consecuencia una disminución de los aminoácidos y de la calidad de la proteína que será menos disponible para las bacterias y por tanto se reduciría la producción de NH_3 .

De manera similar, el procesado con temperatura y presión disminuyó la solubilidad de la proteína a 120 °C (Niu et al., 2003), pero tuvo poco efecto a temperaturas más bajas. Esto puede ser esperado al facilitar el calentamiento a través del núcleo, que tiene el potencial de reducir la solubilidad de la proteína y aumentar el potencial de la reacción de Maillard (Niu et al., 2003).

La producción de AGV's no se modificó con el aumento de la temperatura de procesado del maíz, aunque según la bibliografía el aumentar la temperatura debe aumentar la degradabilidad del rumen y en consecuencia aumentar la producción de AGV's totales. No se observan diferencias entre los AGV's totales a 12 y 24 horas, ya que en las 12 primeras horas ya se había producido el grueso de la degradación del maíz.

En general, el aumento de temperatura de procesado parece mejorar la degradabilidad ruminal del maíz, por lo que se podría plantear este incremento de temperatura en condiciones comerciales de fabricación de pienso. Pero existen limitaciones tecnológicas que se plantean a nivel de fábrica por los cambios físicos variables de la materia prima. En las fabricaciones de los tratamientos estudiados se observó un aumento de volumen y una consistencia muy dura del producto a la salida del expander cuando se trabaja a 120 °C. Esta dificultad tecnológica de utilizar productos del expander por encima de 110 °C condicionó la evaluación del efecto de la temperatura sobre el concentrado y eso explica por qué se evaluaron solo temperaturas inferiores a 110°C.

En contraposición al efecto observado en la materia prima principal (maíz), el efecto de aumentar temperatura del expander sobre el concentrado no aumentó el potencial de degradación ni la velocidad de degradación ni *in vitro* ni *in situ*. Esto puede explicarse al

tratarse de una mezcla de materias primas. En primer lugar, en este pienso encontramos una alta inclusión de cebada (30%), cereal altamente degradable en el cual tiene poco efecto el tratamiento expander (Tothi et al., 2003). Por otro lado, se incluyen otros derivados del maíz, como los DDGS y el gluten feed que ya han sido tratados previamente con tratamientos térmicos, por lo que el hecho de superar los 100°C en el expander no produce modificación adicional.

El nivel total de AGV's en los concentrados fue menor que en los maíces. Esto se debe a que el concentrado es una mezcla de ingredientes que aumenta el nivel de fibra para que sea una ración completa y apta para la salud ruminal del animal, y el aumento de la fibra reduce los niveles de AGV's.

A diferencia de lo que pasaba con los maíces, el incremento de temperatura de procesado en los concentrados aumentó la producción de amoníaco. Hay grandes diferencias en el nivel de proteína bruta de los dos substratos (8.68 vs 12.2 % PB). Se podría pensar que, pese al descenso de la calidad de la proteína debido a las reacciones de Maillard, los substratos equivalentes a concentrados tenían suficiente nitrógeno disponible para un funcionamiento óptimo del rumen.

4.6 Bibliografía

- Alsaffar, A.A., 2010. Effect of thermal processing and storage on digestibility of starch in whole wheat grains. *Journal of Cereal Science* 52, 480–485. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.08.002>
- Azarfar, A., Poel, A.F.B. van der, Tamminga, S., 2007. The effect of sample grinding procedures after processing on gas production profiles and end-product formation in expander processed barley and peas. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87, 855–864. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2788>
- FEDNA, 2008. Necesidades nutricionales para rumiantes de cebo. Normas FEDNA. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.
- Balch, C.C., Graham, M., Centre (Canada), I.D.R., Sciences, I.U. of N., 1980. Standardization of Analytical Methodology for Feeds: Proceedings of a Workshop Held in Ottawa, Canada, 12-14 March 1979. International Development Research Centre.

- Barajas, R., Zinn, R.A., 1998. The feeding value of dry-rolled and steam-flaked corn in finishing diets for feedlot cattle: influence of protein supplementation. *J Anim Sci* 76, 1744–1752. <https://doi.org/10.2527/1998.7671744x>
- Bodas, R., López, S., Fernández, M., García-González, R., Rodríguez, A., J. Wallace, R., Gonzalez, J., 2008. In vitro screening of the potential numerous plant species as antimethanogenic feed additives for ruminants. *Animal Feed Science and Technology - ANIM FEED SCI TECH* 145, 245–258. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.015>
- Brassard, M.-E., Chouinard, P.Y., Berthiaume, R., Tremblay, G.F., Gervais, R., Martineau, R., Cinq-Mars, D., 2015. Effects of grain source, grain processing, and protein degradability on rumen kinetics and microbial protein synthesis in Boer kids. *J Anim Sci* 93, 5355–5366. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9336>
- Brown, M.S., Ponce, C.H., Pulikanti, R., 2006. Adaptation of beef cattle to high-concentrate diets: performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 84 Suppl, E25-33.
- Castillo, C., Hernández, J., Méndez, J., Llena, J., Pereira, V., López-Alonso, M., Benedito, J.L., 2006. Influence of Grain Processing on Acid–Base Balance in Feedlot Steers. *Vet Res Commun* 30, 823–837. <https://doi.org/10.1007/s11259-006-3339-8>
- Chaney, A.L., Marbach, E.P., 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8, 130–132.
- Deblitz, C., y Dhuyvetter, K. (2013). Beef and Sheep Network. Obenido de: www.agribenchmark.org/fileadmin/Dateiablage/B-Beef-and-Sheep/Working-Paper/bs05-USEU-neu.pdf.
- Devant, M., Ferret, A., Gasa, J., Calsamiglia, S., Casals, R., 2000. Effects of protein concentration and degradability on performance, ruminal fermentation, and nitrogen metabolism in rapidly growing heifers fed high-concentrate diets from 100 to 230 kg body weight. *Journal of Animal Science* 78, 1667. <https://doi.org/10.2527/2000.7861667x>
- Dijkstra, J., Ellis, J.L., Kebreab, E., Strathe, A.B., López, S., France, J., Bannink, A., 2012. Ruminal pH regulation and nutritional consequences of low pH. *Animal Feed Science and Technology, Special Issue: Rumen Health: A 360° Analysis* 172, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.005>
- Durmic, Z., Hutton, P., Revell, D., Emms, J., Hughes, S., Vercoe, P., 2010. In vitro fermentative traits of Australian woody perennial plant species that may be considered as potential sources of feed for grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology - ANIM FEED SCI TECH* 160, 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.006>
- García, U.A.G., Corona-Gochi, L., Flores, J.G.E., Amesquita, A., Ronquillo, M.G., 2017. RUMINAL AND INTESTINAL DIGESTION OF MAIZE (*Zea mays*) AND SORGHUM (*Sorghum bicolor* L. MOENCH) USING DIFFERENT DIGESTIBILITY TECHNIQUES (IN VIVO, IN VITRO AND IN SACCO). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20.

- González, L.A., Manteca, X., Calsamiglia, S., Schwartzkopf-Genswein, K.S., Ferret, A., 2012. Ruminant acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). *Animal Feed Science and Technology*, Special Issue: Rumen Health: A 360° Analysis 172, 66–79. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.009>
- Grant, R.J., Soest, P.J.V., McDowell, R.E., 1974. Influence of Rumen Fluid Source and Fermentation Time on In Vitro True Dry Matter Digestibility¹. *Journal of Dairy Science* 57, 1201–1205. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)85037-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)85037-X)
- Hindle, V.A., Van, A.M.V., Klop, A., Mathijssen-Kamman, A.A., Gelder, A.H.V., Cone, J.W., 2005. Site and extent of starch degradation in the dairy cow – a comparison between in vivo, in situ and in vitro measurements. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 89, 158–165. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2005.00560.x>
- Huntington, G.B., 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75, 852–867.
- Huntington, G.B., Harmon, D.L., Richards, C.J., 2006. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *J. Anim. Sci.* 84 Suppl, E14-24.
- J.p, J., 1982. Volatile fatty acid and alcohol determination in digestive contents, silage juices, bacterial cultures and anaerobic fermentor contents [microbial fermentation, biological liquids, analytic method using gas-liquid chromatography]. *Sciences des Aliments*.
- Lundblad, K.K., Issa, S., Hancock, J.D., Behnke, K.C., Mckinney, L.J., Alavi, S., Prestløkken, E., Fledderus, J., Sørensen, M., 2011. Effects of steam conditioning at low and high temperature, expander conditioning and extruder processing prior to pelleting on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs and broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 169, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.06.008>
- McDonald, I., 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *The Journal of Agricultural Science* 96, 251–252. <https://doi.org/10.1017/S0021859600032081>
- Nelson, B.D., Ellzey, H.D., Montgomery, C., Morgan, E.B., 1972. Factors Affecting the Variability of An in Vitro Rumen Fermentation Technique for Estimating Forage Quality. *Journal of Dairy Science* 55, 358–366. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85497-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85497-3)
- Niu, Z.Y., Classen, H.L., Scott, T.A., 2003. Effects of micronization , tempering , and flaking on the chemical characteristics of wheat and its feeding value for broiler chicks. *Canadian Journal of Animal Science* 83, 113–121. <https://doi.org/10.4141/A02-075>
- Nocek, J.E., Tamminga, S., 1991. Site of Digestion of Starch in the Gastrointestinal Tract of Dairy Cows and Its Effect on Milk Yield and Composition. *Journal of Dairy Science* 74, 3598–3629. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78552-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78552-4)
- Offner, A., Bach, A., Sauvant, D., 2003. Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology* 106, 81–93. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00038-5)

- Ørskov, E.R., McDonald, I., 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science* 92, 499–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Owens, Fredric Secrist, D.S., Hill, W.J., Gill, D.R., 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J Anim Sci* 75, 868–879. <https://doi.org/10.2527/1997.753868x>
- Owens, F N, Secrist, D.S., Hill, W.J., Gill, D.R., 1997. The Effect of Grain Source and Grain Processing on Performance of Feedlot Cattle: A Review. *Journal of Animal Science* 75, 868–879.
- Peisker, M., 1992. Improving feed quality by expansion. *International Milling Flour and Feed* 185, 15.
- Pipa, F., Frank, G., 1989. High-pressure conditioning with annular gap expander. A new way of feed processing. *Adv. Feed Technol.* 2, 22–30.
- Potts, S.B., Shaughness, M., Erdman, R.A., 2017. The decline in digestive efficiency of US dairy cows from 1970 to 2014. *Journal of Dairy Science* 100, 5400–5410. <https://doi.org/10.3168/JDS.2017-12641>
- Reynolds, C.K., Cammell, S.B., Humphries, D.J., Beaver, D.E., Sutton, J.D., Newbold, J.R., 2001. Effects of Postrumen Starch Infusion on Milk Production and Energy Metabolism in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 84, 2250–2259. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74672-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74672-3)
- Rotger, A., Ferret, A., Calsamiglia, S., Manteca, X., 2006. Effects of nonstructural carbohydrates and protein sources on intake, apparent total tract digestibility, and ruminal metabolism in vivo and in vitro with high-concentrate beef cattle diets. *J Anim Sci* 84, 1188–1196. <https://doi.org/10.2527/2006.8451188x>
- Ruminants, A.R.C., Blaxter, S., K.L., Britain), A.R.C., 1980. The Nutrient requirements of ruminant livestock : technical review by an Agricultural Research Council working party, [new ed.]. ed. Slough : Published on behalf of the Agricultural Research Council by Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Rymer, C., Huntington, J.A., Williams, B.A., Givens, D.I., 2005. In vitro cumulative gas production techniques: history, methodological considerations and challenges. *Animal Feed Science and Technology* 123–124, 9–30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.055>
- Seifried, N., Steingäß, H., Schipprack, W., Rodehutschord, M., 2016. Variation in ruminal in situ degradation of crude protein and starch from maize grains compared to in vitro gas production kinetics and physical and chemical characteristics. *Archives of Animal Nutrition* 70, 333–349. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2016.1215028>
- Solanas, E., Castrillo, C., Serrano, X., Janacua, H., Fondevila, M., Guada, J.A., 2005. Effect of concentrate extrusion and castration on diet digestion and performance of intensively reared male calves. *Livestock Production Science* 94, 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.12.003>
- Solanas, E.M., Castrillo, C., Jover, M., de Vega, A., 2008. Effect of extrusion on *in situ* ruminal protein degradability and *in vitro* digestibility of undegraded protein from

- different feedstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88, 2589–2597. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3345>
- Stensig, T., Weisbjerg, M.R., Hvelplund, T., 1998. Digestion and passage kinetics of fibre in dairy cows as affected by the proportion of wheat starch or sucrose in the diet. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science* 48, 129–140. <https://doi.org/10.1080/09064709809362413>
- Sterk, B., van Ittersum, M.K., Leeuwis, C., Wijnands, F.G., 2007. Prototyping and farm system modelling—Partners on the road towards more sustainable farm systems? *European Journal of Agronomy* 26, 401–409. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2006.12.006>
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., France, J., 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 48, 185–197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Tothi, R., Lund, P., Weisbjerg, M.R., Hvelplund, T., 2003. Effect of expander processing on fractional rate of maize and barley starch degradation in the rumen of dairy cows estimated using rumen evacuation and in situ techniques. *Animal Feed Science and Technology* 104, 71–94. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00292-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00292-4)
- Vicente, B., Valencia, D.G., Pérez-Serrano, M., Lázaro, R., Mateos, G.G., 2008. The effects of feeding rice in substitution of corn and the degree of starch gelatinization of rice on the digestibility of dietary components and productive performance of young pigs^{1,2}. *Journal of Animal Science* 86, 119–126. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-697>
- Weller, J.I., Ezra, E., 2008. Genetic analysis of the growth rate of Israeli Holstein calves. *Animal* 2, 12. <https://doi.org/10.1017/S1751731108003042>
- Yáñez-Ruiz, D.R., Bannink, A., Dijkstra, J., Kebreab, E., Morgavi, D.P., O’Kiely, P., Reynolds, C.K., Schwarm, A., Shingfield, K.J., Yu, Z., Hristov, A.N., 2016. Design, implementation and interpretation of in vitro batch culture experiments to assess enteric methane mitigation in ruminants—a review. *Animal Feed Science and Technology* 216, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.016>
- Zinn, R.A., Owens, F.N., Ware, R.A., 2002. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *J Anim Sci* 80, 1145–1156. <https://doi.org/10.2527/2002.8051145x>

**5 CAPÍTULO III - In vitro AND In situ
EVALUATION OF CORN, ENSILED AS HIGH
MOISTURE GRAIN OR HIGH MOISTURE EAR
CORN**

1 ***In vitro* and *In situ* evaluation of corn, ensiled as high moisture grain or high moisture ear**
2 **corn (*pastone*) for calves fed high-concentrate ration**

3 Jesús Mora, Ahmad Reza Seradj, Frederic Sedó, Gabriel de la Fuente, Daniel Villalba* and
4 Joaquim Balcells⁴

5 Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Lleida, ETSEA, Alcalde Rovira Roure 191,
6 25198, Lleida, Spain.

⁴ *Corresponding author: Daniel Villalba

Tel: +34 973 70 2556; Fax: +34 973 70 2874

Email: dvillalba@ca.udl.cat;

Abstract

High-moisture corn grain (HMG) or high-moisture ear corn (HME) can be ensiled to provide high energy products and shorten the plant vegetative cycle. The aim of the presented assay was to evaluate *in vitro* the potential use of both corn products for cattle diets reared under an intensive system. Data from High-moisture corn products were also contrasted against dry corn grain (CG) and whole plant corn silage (CS). In relation to HMG, HME showed higher concentration (%) of fiber (NDF: 19.0 vs. 6.32) but lower starch (60.95 vs. 76.80) and CP (7.27 vs. 8.32) content. The inclusion of the cob into the silage did not alter gas production but reduced ME (MJ/Kg DM) content (12.2 vs. 10.1; $p < 0.05$), *in vitro* organic matter digestibility (751.5 vs. 680.2 for HMG and HME respectively) and *in situ* degradability (59.13 vs. 44.68 for HMG and HME respectively).

Keywords high-moisture corn grain, *in vitro* gas production, silage

5.1 Introduction

By ensiling, the whole plant corn can be used in ruminant diets as forage, the optimum equilibrium between energy and biomass yield was reached around 32 % of dry matter for FAO-700 variety in the Ebro's valley (Northeast of Spain), at about 120-125 days post planting. Fifteen days later (130-135 days post planting), nutrient deposition into the grain is complete when grain humidity is around 30-35 %, at this stage corn grain can be harvested and ensiled as high-moisture grain (HMG). Later, grain can be harvested when its humidity is reduced to 18-22 % (160-165 days), although those humidity points vary in function of the autumn weather. Use of HMG as feed for dairy cows and pigs has increased (Danel et al. 2013) because it permits to produce a local high energy feed resource, using same facilities to produce whole plant silage moreover, the shortened corn

cultivation cycle when combined with a winter crop (i.e. ray grass, barley or triticale) allows farmers to perform a double cropping system. Ensiling grain with the cob (high-moisture ear corn, HME; Earlage) reduced the energy content whereas the concentration of fiber was increased which makes HME more suitable to be included in total mixed ration (TMR) of rearing cattle under intensive system. Differences in nutritive value of high-moisture grain silage with or without cob (HME and HMG respectively) used in TMR for cattle fattening is not well documented and thus, the main purpose of this study was to obtain data on *in vitro* and *in situ* fermentation and digestibility of both varieties of high-moisture corn grain and to compare them against dry grain (CG) and the whole plant silage (CS).

5.2 Materials and Methods

5.2.1 Incubation procedure *in vitro*

Samples of high-moisture corn grain (HMG) and high-moisture ear corn (HME), ensiled in trench silo were taken from six commercial farms located in the Ebro's Valley (Lleida, Spain) area. Additionally, samples of dry corn grain (CG) and fresh whole plant silage (CS, ensiled also in trench silo) were also taken from the same places. Composite samples of each corn products (HMG, HME, CG, and CS) were used in five separate *in vitro* incubation series during five consecutive periods following recommendations of (Theodorou et al. 1994), using rumen *inocula* from beef cattle reared under intensive system (single animal per incubation). Rumen liquid was harvested at a slaughterhouse at 0800 h and immediately used as inoculum. Donor animals had received rations composed of a commercial concentrate (50 % corn grain, 18 % barley, 10 % lupines, 10 % gluten feed, 6 % dry distillery grains, 6 % soybean meal) plus barley straw offered ad libitum (approximately 90 % concentrate and 10 % straw in the final ration). The rumen contents were immediately stored in a pre-heated (39 °C) thermo flask. Once in the

laboratory, rumen contents were filtered through a double layer of gauze and used as an inoculum at 0.10 of total incubation volume. Five serum glass bottles (120 mL total volume) were used as analytical replicates for each experimental treatment. In order to simulate the fermentation characteristics of practical feeding conditions, 600 mg DM of each experimental substrate (freeze-dried samples, ground to 1 mm particle size) were included in the bottles, and filled with 80 mL of an incubation solution consisting of rumen inoculum and mineral, buffer and reducing solutions (Mould et al. 2005). All the incubations were prepared under a CO₂ stream, sealed with butyl rubber stoppers and aluminum crimps and incubated at 39 ± 1 °C in a shaking water bath for 96 h. For each incubating set, five serum bottles containing only incubation solution were incubated along with rest of treatments as blank (BLK) and used to compensate for gas production in the absence of substrate. Pressure measurements were determined with a TP704 Manometer (DELTA OHM, Italy) at 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48, 72 and 96 h of incubation. Pressure readings were converted to volume by a linear regression established between pressure and known air volumes at an equal incubation temperature. Gas volume at each incubation time was expressed per unit of incubated dry matter (DM).

5.2.2 Incubation procedure in situ

Six Holstein male calves (400 kg of live weight) fitted with permanent ruminal cannulas were used to compare kinetics of ruminal degradation of HMG, HME and CG corn products. Calves were fed a corn-based concentrate and barley straw on an *ad libitum* basis. All the animals had free access to water. Calves were housed in individual pens, each one of them was equipped with an individual feedbunk and an individual drinker.

Cannulation protocol was approved by the University of Lleida Ethical Committee (CEEA. 01-07/16). Cannulas used for this purpose were flexible (Bar Diamond Inc. 2004; Ø 8 cm) and they were placed at the rumen dorsal sac. Animals were considered to be

recovered from cannula insertion when they reached their previous intake level, which happened seven days after the surgery.

Ruminal degradability of corn products tested was analyzed following the *in situ* nylon bag technique (Ørskov and McDonald, 1979). Between 5-7 g (on a fresh matter basis) of corn products tested (corn silage, CS, was not included in this analysis) were weighed into number-coded nylon bags (SEFAR, Cardedeu, Spain; Ø 50 mm), which were placed in the rumen and anchored to the cannula with a chain (40 cm length). Nylon bags are considered to be semi-permeable: microbial populations in ruminal fluid are able to get inside the bag and ferment feed samples tested and, later on, fermentation end products are also able to get outside the bags and the rumen. For this reason, if nylon bags containing feed samples are placed in the rumen at the same time and removed from rumen at different time points, nutrient disappearance and feed digestibility can be estimated.

Each corn product sample was incubated in each calf in duplicate. Bags were removed from the rumen at 0, 2, 4, 6, 12, 24, 48 and 72 hours after the beginning of the incubation. Bags were placed in rumen consecutively, not simultaneously.

5.2.3 Sampling and analyses

For *in vitro* analysis, a sample from the stock solution was taken at the onset of each incubating set (Time 0). One bottle per treatment was opened after 24, 48 or 72 h of incubation, immediately after gas measurements; pH was determined and contents were filtered through a metal sieve (1 mm pore size) and sampled for ammonia nitrogen (2 mL, plus 0.8 mL of 0.5 N HCl) and VFA (4 mL, taken on 1 mL solution made up with 20 mL/L ortho-phosphoric acid and 2 g/L of 4-methylvaleric acid as an internal standard, in distilled water) concentrations. Samples were immediately frozen (-20 °C) until further

analyses. The remaining two bottles per treatment were incubated for gas production measurements for 96 h when their content were pooled and sampled as above. All treatments (HMG, HME, CG, CS) used as substrates were analyzed in triplicate following the procedures of (AOAC 1990). The DM content was determined by oven drying at 105 °C to a constant sample weight (ref. 934.01), crude ash content (CA) was determined by incineration on muffle furnace at 550 °C for 4 h (ref. 942.05), ether extract (EE) using Soxhlet extraction method with diethyl ether (ref. 920.39) and the crude protein (CP) was analyzed by the Kjeldahl method (ref. 976.05). The proportion of neutral detergent fiber (NDF) was determined according to (Van Soest et al. 1991), using α -amylase but not sodium sulphite, and subtracting ashes from the residue, acid detergent fiber (ADF) was measured using ANKOM Technology method (ref. 973.18) and total starch by the amyloglucosidase- α -amylase method (ref. 996.11). Ammonia-N concentration was determined by the (Chaney & Marbach 1962) method after centrifugation (25000 g, 20 min). Volatile fatty acid concentration and the molar VFA profile were determined by gas chromatography according to the technique proposed by (Jouany 1982), using a capillary column (BP21, 30m \times 0.25 mm ID \times 0.25 μ m, DE, USA).

5.2.4 Calculations and statistical analysis

The gas production in the read pressure technique was corrected to 200 mg substrate (DM) according to the linear relationship between quantity of substrate and gas production (Theodorou et al. 1994).

Rate of gas production was estimated from the cumulative gas production at incubation times varying from 2 to 96 h by means of nonlinear regression. The pattern of gas production was fitted iteratively (SAS NLIN procedure) to the model proposed for rumen degradation by McDonald (1981), modified as: $y = a(1 - e^{-b(t-c)})$, where y is the cumulative gas production at a given time (mL); a is the potential cumulative gas production (mL);

b is the rate of gas production (mL/h); t is the time of fermentation (h); and c is the discrete lag time (h).

In vitro OM digestibility (IVOMD; g/kg DM) and metabolizable energy (ME; MJ/kg DM) were estimated using the following equations Menke and Steingass (1988):

$$\text{IVOMD} = 14.88 + 0.889 \times \text{GP} + 0.045 \times \text{CP} + 0.0651 \times \text{CA}$$

Metabolizable energy for forage feeds (as CS and HME);

$$\text{ME} = 2.20 + 0.136 \text{ GP} + 0.057 \text{ CP} + 0.0029 \text{ EE}^2$$

for concentrate feeds (as CG and HMG);

$$\text{ME} = 1.06 + 0.157 \text{ GP} + 0.084 \text{ CP} + 0.22 \text{ EE} - 0.081 \text{ CA}$$

where GP is the gas production (mL) for 200 mg of substrate after 24 h of incubation, CP, EE and CA are crude protein, ether extract and crude ash (% DM), respectively.

In the *in situ* incubation procedure, the gas production pattern was adjusted using an iterative method (NLIN SAS procedure). Degradation kinetics (2) was adjusted using a first-order kinetic model [$y = a + b * (1 - e^{-ct})$], where (a) was the soluble fraction of the dry matter, (b) was the insoluble but potentially degradable fraction of the dry matter and (c) was the degradation fractional rate rhythm. Effective rumen degradability (ERD) was calculated using equation 2.

$$(2) \text{ ERD} = a + \frac{b * c}{c * k}$$

Constant “k” was replaced by a fixed value depending on the different productive phases: k=0.02 for animals in maintenance, k=0.05 for growing and pregnant animals and k=0.08 for lactating animals (ARC, 1980).

For *in vitro* variables the batch was considered as the experimental unit. Computations for the repeated measurement were performed using the mixed procedure of SAS (Inst. Inc., Cary, NC). The model included block (considered as a random effect), treatment, incubation time (considered as repeated measures) and treatment \times time of incubation as fixed factors.

In situ variables were studied with a variance analysis that included treatment as fixed effect. The statistical analysis was performed using the GLM SAS procedure (version 9.1, Cary, NC).

Tukey multiple comparison procedure was applied to all treatments. Significant differences and tendencies were declared at $p < 0.05$ and $p < 0.10$, respectively

5.3 Results and discussion

Chemical composition of incubation experimental substrates is shown in Tabla 21. The presence of plant vegetative parts in CS and the cob in HME increased NDF and ADF fractions whereas both HMG and CG showed the lowest fiber (NDF and ADF) concentration. Starch content (%) was higher (76.80) in CG followed by HMG (66.75), HME (60.85) and CS (34.90). Corn grain showed a higher CP contents than the rest of tested products.

These results were in accordance with those proposed by other studies (Firkins et al. 2001; Lardy & Anderson 2010). Levels of moisture (below 30%) for HMG and HME were also documented by Lardy and Anderson (2010), in spite of lower levels of CP contents observed in our study (8.3 % and 7.2 % vs. 10.0 % and 8.8 %) for HMG and HME, these values were in the range proposed by Akins and Shaver (2014). Authors are aware of variations due to growing conditions, moisture at harvest or even location can be not totally represented (Firkins et al. 2001), but this effect may have been minimized by the

election of 6 different samples and the homogenization of each one of the feedstuffs before their chemical analysis.

Nutritional value of HMG and HME for dairy cattle has been previously documented, although such data on their use for cattle in feedlot are quite scarce or even unavailable. Since the main interest of this study was to refine the nutritional value of both HMG and HME in feedlot diets, the rumen liquid from fattening calves was used as inoculum. It is known that the source of rumen liquid affects the fermentation kinetics in *in vitro* incubations (Cone et al. 1996) therefore to evaluate the feedstuffs value, it is required to use rumen liquid obtained from steers whom are adapted to specific feeding conditions.

Kinetics parameters of gas production (*a*, *b* and *c*), estimates of metabolizable energy (ME; MJ/kg DM) and *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD; g/kg DM), together with *in vitro* fermentation parameters such as ammonia-N (NH₃-N) and volatile fatty acids (VFA) concentrations of the experimental substrates are shown in Tabla 22. No differences were recorded in gas production rate (*b*; mL/h) between HMG and HME but the former showed higher rates than CG ($p < 0.01$). Corn silage incubation produced a different pattern than the rest of the corn substrates and had the lowest potential cumulative gas production (*a*, mL/g DM; $p < 0.05$). Ammonia concentration in the incubation media was always higher than the threshold level proposed to fulfill microbial RDP requirements (50 mg/L; Satter and Slyter, 1974) and differences in NH₃-N concentration among CG, HMG and HME reflect their CP content (Tabla 22) however CS with the lowest CP content showed the highest NH₃-N concentration in the incubation media ($p < 0.05$). It is known that the silage processing induces an increase in degradability of the protein compared to the cereal in grain. In corn, the degradable fraction in silage can account for 80 % of the total CP contents however, this value is around 40 % in corn grain. Degradability of the protein in HMG and HME stays in

between those values (Lardy & Anderson 1999). Significant differences among different corn products were observed in VFA production, where HMG and HME produced a higher amount than CS ($p < 0.05$), CG had an intermediate value that did not differ from the other treatments ($p > 0.05$).

Corn silage had the lowest digestibility (IVOMD at 24 h; $p < 0.01$) whereas HMG showed higher calculated ME concentration and IVOMD ($p < 0.01$), in this sense it can be hypothesized that presence of the protein matrix in the mature corn grain surrounding the starch granules can reduce the surface exposed for microbial attack (Huntington 1997) and potential microbial fermentation. The estimated ME (MJ/kg DM) content of CG was slightly under the range (12.25 to 15.65) reported by Getachew et al. (2002), but in the ranges of 10.4 to 11.4 and 10.80 to 14.75 documented by Umucalilar et al. (2002) and Abaş et al. (2005), respectively. The estimated ME content of CS fits well in the range (8.00 to 9.35) described by Getachew et al. (2002). Our results are in agreement with Lardy and Anderson (2010) who reported that the high-moisture ear corn is higher in energy than corn silage with similar protein content, but it has lower energy than dry or high-moisture corn grain.

The results of *in situ* analysis (Tabla 23) confirm the *in vitro* data. The effective rumen degradation (ERD) was higher for HMG (64.0 % when $k=0.05$) than CG. As shown in Tabla 23, this substrate produced more gas and produced more total VFAs. The positive relationship between gas production and VFA concentration was in accordance with previous reports by other researchers (Beuvink & Spoelstra 1992; Blümmel & Ørskov 1993; Getachew et al. 2004). The proportion of individual VFA varied among analyzed substrates, CG produced higher proportion of propionate and butyrate and a lower proportion of acetate fermented products ($p < 0.01$). Considering that NDF concentration in grain products (CG and HMG) was similar, the higher acetate production registered in

the latter (see Tabla 22), might be indicative of a higher NDF degradability in high-moisture corn products (i.e. HMG). The higher concentration of propionate in CG reflects its higher starch concentration in relation to the fermented products. Differences in VFA profiles would alter the relationship between rumen VFAs concentration and gas production (Pereira et al. 2013) because fermentation of carbohydrate via the acetate pathway yields more CO₂ than fermentation to propionate (Getachew et al. 1998).

The corn grain ensiled cob (HME) showed lower ERD than HMG and CG from the *in situ* experiment. The difference between HME and CG was not significant when ERD was calculated using a low outflow rate ($k=0.02$) but it reaches significance when higher outflow rate (0.05 and 0.08) were considered.

5.4 Conclusions

In vitro comparison of the nutritive value of high-moisture corn grain ensiled alone or with the corn cob against mature-dry corn grain or conventional whole corn plant silage, showed that high-moisture products constitute ingredients with high digestibility and ME content. In relation to HMG, inclusion of cob into the silage (HME) reduce ME availability and improves fiber for rumen fermentation improving his potential use as a food resource for intensive cattle fattening.

5.5 Acknowledgments

This work was funded by Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y alimentaria (INIA; RTA2010–057). Jesús Mora Gil was a recipient of a research training grant from the Universitat de Lleida (UdL - 2015). Ahmad Reza Seradj was a recipient of a research training grant from the Government of Catalonia (FI-DGR 2011-Generalitat de Catalunya). The authors wish to thank Dr. Jaume Lloveras from department of crop and forest sciences, University of Lleida for his advices on agronomic issues.

5.6 References

- Abas I, Özpinar H, Kutay HC, Kahraman R, Eseceli H. 2005. Determination of the metabolizable energy (ME) and net energy lactation (NEL) contents of some feeds in the Marmara Region by in vitro gas technique. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 29: 751-757.
- Akins MS, Shaver RD. 2014. Effect of corn snaplage on lactation performance by dairy cows. *Prof. Anim. Sci.* 30: 86-92.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Assoc. Off. Anal.Chem., Arlington, VA.
- A.R.C., 1980. *The Nutrient requirements of ruminant livestock : technical review by an Agricultural Research Council working party, [new ed.]*. ed. Slough : Published on behalf of the Agricultural Research Council by Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Beuvink JMV, Spoelstra SF. 1992. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms in vitro. *Appl. Microbiol. Biot.* 37: 505-509.
- Blümmel M, Ørskov ER. 1993. Comparison of in vitro gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. *Anim. Feed Sci. Tech.* 40: 109-119.
- Chaney AL, Marbach EP. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Cone JW, Van Gelder AH, Visscher GJW, Oudshoorn L. 1996. Influence of rumen fluid and substrate concentration on fermentation kinetics measured with a fully

- automated time related gas production apparatus. *Anim. Feed Sci. Tech.* 61: 113-128.
- Danel J, Callu P, Samson A, Cazaux JG, Vilarino M. 2013. The nutritional value of corn grains for growing pigs: influence of the way of preservation. Poster session presented at: 64th EAAP Annual Meeting; Nantes, France.
- Firkins JL, Eastridge ML, St-Pierre NR, Noftsker SM. 2001. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 79: E218-E238.
- Getachew G, Blümmel M, Makkar HPS, Becker K. 1998. In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: A review. *Anim. Feed Sci. Tech.* 72: 261-281.
- Getachew G, Crovetto GM, Fondevila M, Krishnamoorthy U, Singh B, Spanghero M, Steingass H, Robinson PH, Kailas MM. 2002. Laboratory variation of 24 h in vitro gas production and estimated metabolizable energy values of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 102: 169-180.
- Getachew G, Robinson PH, DePeters EJ, Taylor SJ. 2004. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and in vitro gas production of several ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 111: 57-71.
- Huntington GB. 1997. Starch Utilization by Ruminants: From Basics to the Bunk. *J. Anim. Sci.* 75: 852-867.
- Jouany JP. 1982. Volatile fatty acid and alcohol determination in digestive contents, silage juices, bacterial cultures and anaerobic fermentor contents. *Sci. Aliment.* 2: 131-144.

- Lardy G, Anderson V. 1999. Alternative Feeds for Ruminants. North Dakota State Univ. Ext. Serv. Bull. AS-1182. Fargo, ND.
- Lardy G, Anderson V. 2010. Harvesting and feeding corn as earlage. North Dakota State Univ. Ext. Serv. Publ. AS-1490, Fargo, ND.
- McDonald I. 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci.* 96: 251-252.
- Menke KH, Steingass H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28: 7-55.
- Mould FL, Kliem KE, Morgan R, Mauricio RM. 2005. In vitro microbial inoculum: A review of its function and properties. *Anim. Feed Sci. Tech.* 123-124 Part 1: 31-50.
- Pereira ES, Mizubuti IY, De Azambuja Ribeiro EL, Neiva JNM, Pimentel PG, Duarte LS, Moreno GMB, Pinto AP, Costa MRGF, Rocha Jr JN. 2013. Estimative of the nutritional value of agroindustrial byproducts by using in vitro gas production technique. *Semin-Cienc. Agrar.* 34: 391-398.
- Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 48: 185-197.
- Umucalilar HD, Coşkun B, Gülşen N. 2002. In situ rumen degradation and in vitro gas production of some selected grains from Turkey. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 86: 288-297.

Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.

Tabla 21. Chemical compositions of the experimental substrates (n = 6).

Parameters (%)	Treatments				SEM *	p Values
	HMG	HME	CG	CS		
Dry matter	65.67 ^b	62.87 ^b	86.07 ^a	33.03 ^c	1.300	< 0.01
Crude protein	8.32 ^b	7.27 ^c	9.31 ^a	6.32 ^d	0.229	< 0.01
Ether extract	3.55 ^a	3.53 ^a	3.48 ^{ab}	3.07 ^b	0.113	0.02
Neutral detergent fiber	4.25 ^c	19.00 ^b	6.32 ^c	43.80 ^a	0.851	< 0.01
Acid detergent fiber	0.85 ^c	9.27 ^b	1.22 ^c	27.38 ^a	0.662	< 0.01
Starch	66.75 ^b	60.85 ^c	76.80 ^a	34.90 ^d	0.938	< 0.01
Crude ash	1.70 ^b	1.72 ^b	1.61 ^b	4.68 ^a	0.169	< 0.01

Different superscripts ^(a,b,c,d) denote statistical differences ($p < 0.05$) among treatments.

High-moisture corn grain silage (HMG), high-moisture ear corn silage (HME) and conventional corn grain (CG) and whole plan corn silage (CS)

* Standard Error of the Mean

Tabla 22. Gas production parameters, estimated metabolizable energy (ME; MJ/kg DM) and in vitro organic matter digestibility (IVOMD; g/kg DM), together with in vitro fermentation parameters such as ammonia-N (NH₃-N) and volatile fatty acids (VFA) concentrations

Parameters	Treatments				SEM *	p Values
	HMG	HME	CG	CS		
† <i>a</i> ; mL/g DM	329.3 ^a	295.5 ^a	303.5 ^a	227.9 ^b	11.03	< 0.01
‡ <i>b</i> ; mL/h	0.22 ^a	0.17 ^{ab}	0.10 ^b	0.14 ^b	0.019	< 0.01
§ <i>c</i> ; h	0.7	-0.4	-0.1	-0.7	0.58	0.39
ME; MJ/kg DM	12.2 ^a	10.1 ^c	11.4 ^b	8.2 ^d	0.14	0.01
IVOMD; g/kg DM	751.5 ^a	680.2 ^b	706.2 ^b	572.9 ^c	0.93	< 0.01
NH ₃ -N, mg/L	317.5 ^b	309.1 ^b	346.4 ^a	366.5 ^a	10.51	< 0.01
VFA, mM	49.7 ^a	48.9 ^a	45.5 ^{ab}	41.6 ^b	2.71	< 0.01
VFA, mol/100 mol						
Acetate	59.3 ^a	60.7 ^a	55.6 ^b	60.0 ^a	1.37	< 0.01
Propionate	22.2 ^b	21.4 ^b	24.1 ^a	22.1 ^b	0.35	< 0.01
Iso Butyrate	1.4 ^b	1.4 ^b	1.4 ^b	1.6 ^a	0.12	< 0.01
Butyrate	12.5 ^b	12.1 ^b	14.4 ^a	11.6 ^b	0.73	< 0.01
Iso Valerate	2.8 ^b	2.6 ^b	2.7 ^b	3.0 ^a	0.21	< 0.01
Valerate	1.9	1.8	1.8	1.7	0.1	0.245

Different superscripts ^(a,b,c) denote statistical differences (p < 0.05) among treatments.

High-moisture corn grain silage (HMG), high-moisture ear corn silage (HME) and conventional corn grain (CG) and whole plan corn silage (CS). * Standard Error of the Mean

†*a*; accumulative gas production (mL/g DM), ‡*b*; rate of gas production (mL/h) and §*c*; lag time (h)

Tabla 23. In situ fermentation parameters and in situ degradability (%) of different corn products

Parameters	Treatments			SEM *	p Values
	HMG	HME	CG		
<i>a</i>	26.0	26.2	23.5	2.20	0.6961
<i>b</i>	57.5	108.3	63.3	19.32	0.1808
<i>c</i>	0.105 ^a	0.033 ^b	0.047 ^b	0.016	0.0001
ERD0.02	73.5 ^a	62.6 ^b	66.7 ^b	1.39	0.0003
ERD0.05	64.0 ^a	48.4 ^c	53.1 ^b	1.09	0.0001
ERD0.08	57.8 ^a	42.4 ^c	46.1 ^b	1.14	0.0001

Different superscripts ^(a,b,c) denote statistical differences ($p < 0.05$) among treatments.

High-moisture corn grain silage (HMG), high-moisture ear corn silage (HME) and conventional corn grain (CG). * Standard Error of the Mean

a; soluble fraction, *b*; non-soluble fraction (mL/h) and *c*; fractional rate of degradation. ERD (Effective rumen degradability)

**6 CAPÍTULO IV - EFECTO DEL NIVEL DE
ENERGÍA Y DE LA PRESENTACIÓN DEL
CONCENTRADO SOBRE LOS ÍNDICES
PRODUCTIVOS Y DE COMPORTAMIENTO DE
TERNEROS FRISONES Y MONTBELIARD**

6.1 Introducción

En España, el sistema de engorde de terneros se basa en un modelo muy intensivo con una gran concentración de cebaderos localizados principalmente en el valle del Ebro y Castilla y León. En este sistema se engordan dos tipos de animales: unos muy jóvenes, procedentes de lecherías nacionales o importados (*mamones*, 1-2 semanas de vida); los otros, terneros destetados de vacas de cría del norte de España o de países europeos (*pasteros*, 5 a 7 meses de vida). Estos dos tipos de animales se engordan hasta una edad y pesos variables en función del mercado, pero habitualmente alrededor del año de vida.

El sistema de alimentación en la fase de engorde en el sur de Europa (España e Italia) es muy diferente que el del resto de Europa, este sistema intensivo de alimentación consiste en una base de concentrado y un forraje de mala calidad para cumplir las necesidades ruminales; en el norte de Europa, el engorde de terneros está basado en sistemas de producción extensivos como Irlanda y Suecia o en forrajes ensilados. En cambio, el sistema americano de los “feedlot”⁵ se situarían más cerca del sistema español (Debliz y Dhuyvetter, 2013).

Económicamente, el sistema de engorde basado en pienso y paja es muy dependiente de la evolución de los mercados. La volatilidad del precio de las materias primas, combinada con un mercado de la carne poco estructurado sitúa, en algunos momentos, al sistema de engorde convencional al límite de la rentabilidad económica. En una comparación de los datos de las granjas típicas españolas (Magrama, 2013) y de otros países europeos (Debliz y Dhuyvetter, 2013), se puede observar que los márgenes obtenidos en las granjas españolas son mínimos e incluso negativos mientras que en otros sistemas de engorde el margen es mayor y positivo en todos los años estudiados.

Los factores que más influyen en el margen económico del producto final son el coste del animal y principalmente, el de la alimentación. En los engordes de terneros en España, los costes de compra de los animales suponen entre un 15 y un 60% de los costes de producción (Magrama, 2013). La variabilidad procede de la edad (*mamones* o *pasteros*) y del tipo genético. En función de estos dos parámetros los costes de alimentación pueden

⁵ Aunque los feedlot americanos incorporan un elevado porcentaje de concentrado en forma de granos de cereal, también incorporan forrajes secos o ensilados, diferenciándose así del sistema de pienso y paja.

oscilar entre 30 y 65% de los costes de producción. En todos los casos la suma de ambos costes supone entre 80 y 95% de los costes totales.

Los tipos genéticos que se utilizan en el engorde de terneros en España se pueden dividir genéricamente en tres grupos: rústicos, cárnicos y lecheros. Entre los tipos genéticos lecheros, el mayoritario en los engordes españoles procede de granjas con vacas de raza Holstein (Frisona), ya sea en pureza o cruzadas con otras razas. La selección basada en la cantidad de leche (Conafe, 2017) ha dado lugar a un tipo de animal con una gran precocidad; en estos casos, es frecuente la presencia tanto de animales de raza pura o procedentes de cruce con Montbeliard. Esta raza, de origen francés, se selecciona desde el siglo XIX por sus cualidades lecheras para fabricación de quesos. Actualmente representa la segunda raza lechera francesa en efectivos. En esta raza la selección también se centra en la producción de leche, pero se ha conservado como objetivo secundario el crecimiento muscular y la calidad de la canal, generando una buena valorización cárnica de los novillos dotándose de la capacidad de doble propósito (O.S. Montbeliard, 2010). Es difícil encontrar comparaciones entre estas dos razas y, por otro lado, muchas de las recomendaciones sobre los niveles de energía y proteína para el engorde de este tipo de animales están obtenidas con raciones muy diferentes a las utilizadas en nuestra zona, y deben ser actualizadas teniendo en cuenta el gran cambio genético que supone la selección de las razas lecheras.

Otro de los factores a tener en cuenta en los sistemas de alimentación del sur de Europa, es la forma de presentación del concentrado. Los concentrados utilizados en los engordes de terneros se pueden presentar en su forma más sencilla como materias primas molturadas y mezcladas, pero la granulación es una de las presentaciones de alimentación más común (Castillo, 2006) en sistemas mediterráneos de alimentación de terneros, lo que representa un coste adicional estimado en la fabricación de piensos en comparación con la harina (Solanas, 2005).

6.2 Objetivos

Los objetivos del presente estudio son determinar los índices productivos y de comportamiento de terneros de dos razas lecheras en régimen intensivo con diferentes niveles de energía y presentación en el concentrado.

6.3 Material y métodos

Se llevaron a cabo 2 experiencias de engorde consecutivas en la granja experimental Montsuà propiedad de la Cooperativa de Ivars d'Urgell (Lleida, España). La granja es una instalación convencional semicubierta, hormigonada y orientada hacia el sur para evitar heladas y vientos dominantes; además, los terneros siempre disponían de cama caliente limpia y abundante de paja. En cada engorde los animales se alojaron en 4 lotes o corrales, donde cada corral presentó una única estación de alimentación tipo túnel y 8 metros de comedero lineal de paja. El primer engorde se realizó con 90 terneros machos enteros de raza Holstein, de origen francés, que iniciaron su engorde con $170 \text{ kg} \pm 3.28$ de peso vivo (PV) con 135 días de vida y fueron sacrificados en matadero comercial con 480 kg PV de media y 343 días de vida. El segundo engorde se realizó con 86 terneros machos enteros de raza Montbeliard, de origen francés, que iniciaron su engorde con $180 \text{ kg} \pm 2.76$ de peso vivo con 129 días de vida y fueron sacrificados en matadero comercial con 570 kg PV de media y 340 días de vida.

Los terneros procedentes de ambos engordes habían pasado la primera fase de su vida en una granja de mamones de la propia Cooperativa de Ivars, con un protocolo estandarizado de alimentación con leche artificial; al llegar al peso deseado fueron trasladados a la granja experimental Montsuà, fueron pesados y distribuidos en lotes para iniciar la experiencia con pesos similares en los 4 lotes. Ya en las instalaciones experimentales todos los terneros recibieron el mismo pienso tipo Starter durante un periodo de adaptación al sistema de alimentación de entre 15 y 20 días. Pasado este período cada lote fue alimentado con su respectiva dieta experimental o tratamiento.

6.3.1 Dietas experimentales

Cada lote experimental recibió diferentes tratamientos o tipos de concentrado: tres con una presentación expandida y granulada (el pienso pasa por el expander a razón de 107-120°C y entre 50-70 atmosferas de presión para posteriormente ser granulado) y tres concentraciones energéticas (Baja, Media, y Alta). El nivel energético medio se administró también en forma de harina y constituyó el cuarto tratamiento (Ha-Media).

Para una descripción pormenorizada de los diferentes tratamientos, ver Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26)

El concentrado se formuló en base a maíz, tercerillas y DDGS (“Dried Distillers Grains with Solubles”, Subproductos de destilería) y durante el engorde se formularon, para cada tratamiento y raza, dos tipos de pienso, fase crecimiento (entre 118-279 días de vida) y fase acabado (279-345 días de vida) (ver Tabla 24). Todos los camiones de concentrado destinados a la explotación eran analizados mediante tecnología NIRS antes de efectuar la descarga.

Tabla 24. Composición de los concentrados en la raza Holstein en función del nivel de energía

Materia Prima	Crecimiento			Cebo		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Garrofa	0.5	-	-	-	-	-
Maíz nacional	44.3	39.0	26.2	45	45	45
Cebada nacional 2c	5	19.5	36.5	12.1	11.9	12.5
Gluten feed	25	8	8	10	10	10
Harinillas trigo	15	10	8	10	10	10
DDGS maíz	1.6	10	10	5.8	6.7	3.3
Melaza caña	3	3	1.3	3	3	3
Harina palmiste	1.7	5.2	3	7.1	6.7	3.4
Harina colza	0.7	-	0.8	-	-	6.3
Jabón cálcico	-	2	3.4	3.5	3.5	3.5
Aceite palma	-	-	-	-	0.2	0.7
Cascarilla de soja	-	-	-	-	-	0.2
Urea	-	0.4	0.5	0.4	0.4	-
Bicarbonato sódico	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Carbonato cálcico	1.7	1.6	0.9	1.8	1.2	0.7
Sal	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
CMV TERNEROS 0.2%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

CMV: Complemento mineral y vitamínico

Tabla 25. Composición de los concentrados en la raza Montbeliard en función del nivel de energía

Materia Prima	Crecimiento			Cebo		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Maíz nacional	31.1	30.6	34.5	45	45	45
Cebada nacional 2c	29.2	27.4	26.4	15.3	14.9	14.5
Gluten feed	12	15	12	12	12	12
Harinillas trigo	8	10	8	10	10	10
DDGS maíz	8	12	8	5.3	8	1
Jabón cálcico	1.8	2.3	3.5	3.1	3.5	3.5
Soja 44	-	-	5.3	-	-	5.9
Melaza caña	2.6	-	-	1	-	-
Harina palmiste ex	2.6	-	-	5.7	-	-
Harina colza	1.8	-	-	0	2.5	-
Urea	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2	0.1
Bicarbonato sódico	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Carbonato cálcico	1.1	1.2	0.9	0.9	0.8	0.8
Sal	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
CMV TERNEROS 0.2%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

CMV: Complemento mineral y vitamínico

Tabla 26. Valor nutricional esperado de los concentrados para la raza Holstein

	Crecimiento			Cebo		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
MS	87.4	88.2	89	88.1	88.1	87.9
UFC	0.96	1	1.03	1.02	1.03	1.04
FB	5	5	5	5	5	5
FAD	6.5	7.1	7	7.2	7.2	6.8
FND	19.9	19.2	19	18.7	18.8	17.4
ALMIDON	40	40	40	40	40	40
CNF	45.6	44.7	44	44.2	44.3	45.7
PB	12.1	12.9	14	12.2	12.3	12.3
PDIA	4.1	4.4	4	4.23	4.3	4.33
PDIN	8.8	9.2	9	8.7	8.8	8.8
PDIE	8.8	9.2	9	8.7	8.8	8.8

Ms: Materia Seca; UFC: Unidades Forrajeras Carne; FB: Fibra Bruta; FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente; CNF: Carbohidratos no fermentables; PB: Proteína bruta; PDIA: Proteína digestible intestino alimentaria; PDIN; Proteína digestible intestino por nitrógeno; PDIE: Proteína digestible intestino por energía.

Tabla 27. Valor nutricional esperado de los concentrados para la raza Montbeliard

	Crecimiento			Cebo		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
MS	88.5	88.8	88.7	88.3	88.3	88.3
UFC	1.00	1.02	1.05	1.03	1.05	1.07
FB	5.0	4.9	4.6	5.0	5.0	5
FAD	6.9	6.5	6.0	7.0	6.5	6.3
FND	19.2	19.9	17.5	18.9	18	16.3
ALMIDON	40	40.3	40.7	42	42	42
CNF	45.1	44.1	45.6	45.3	45.7	47
PB	13.4	13.5	13.7	12.5	12.6	12.7
PDIA	4.2	4.4	4.8	4.35	4.4	4.5
PDIN	9.4	9.5	9.8	8.9	9	9.2
PDIE	9.4	9.5	9.8	8.9	9	9.2

Ms: Materia Seca; UFC: Unidades Forrajeras Carne; FB: Fibra Bruta; FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente; CNF: Carbohidratos no fermentables; PB: Proteína bruta; PDIA: Proteína digestible intestino alimentaria; PDIN; Proteína digestible intestino por nitrógeno; PDIE: Proteína digestible intestino por energía.

Tabla 28. Composición química de los concentrados para la raza Holstein

	Crecimiento			Cebo		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
MS	87.8	88.2	88.2	87.5	87.5	87.7
FB	6.2	5.4	4.7	5.7	5.5	5.5
PB	12.1	12.3	12.4	11.3	11.4	11.3
GB	4.6	5.1	6	3.9	4.7	4.5
C	4.5	4.2	3.8	4.0	4.0	3.6
ALMIDON	43.3	44.9	45.0	46.7	45.3	47.7

Ms: Materia Seca; FB: Fibra Bruta; PB: Proteína bruta; GB: Grasa bruta; C: Cenizas

Tabla 29. Composición química de los concentrados para la raza Montbeliard

	Crecimiento			Cebo		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
MS	87.6	87.6	87.9	87.7	87.7	88.0
FB	5.0	4.6	4.8	5.8	5.8	5.9
PB	12.1	12.2	12.7	11.6	11.5	11.7
GB	5.1	6.1	7.0	5.3	7.0	8.0
C	3.6	3.4	3.5	4.1	3.7	3.8
ALMIDON	46.2	46.1	44.7	42.2	44.6	42.4

Ms: Materia Seca; FB: Fibra Bruta; PB: Proteína bruta; GB: Grasa bruta; C: Cenizas

6.3.2 Estación de alimentación automática

La estación de alimentación consiste en un comedero tipo de manga de manejo o túnel donde solo entra un ternero. El acceso está protegido por 2 barreras laterales (1.8m de largo por 1.4 m alto) formando un túnel, el ancho del cual se puede regular desde 0.5 a 0.8 cm de ancho.

En el extremo del túnel hay un comedero individual (200 kg de capacidad) que se rellena entre una y dos veces al día. El comedero está instalado sobre una báscula para saber en cada instante el peso de concentrado que hay en el mismo; además la misma plataforma donde los terneros permite realizar mediciones de peso, de tal forma, que cuando un ternero entra en el comedero el lector lee el chip individual FHX (situado en la oreja izquierda del ternero) y automáticamente graba el peso del animal. En el momento de la salida se calcula el tiempo que ha estado el ternero en el comedero, así como la cantidad ingerida por el animal calculada como la diferencia de peso del comedero entre la entrada y la salida. Así se pudieron contabilizar los pesos individuales diarios de los animales, el consumo individual diario, el tiempo de ingestión total y el número de ingestas diarias. La salida de datos proporcionó las siguientes variables: Peso animal (kg), tiempo de comida (min), Consumo ingerido por visita (gr), número de visitas.

6.3.3 *Análisis estadístico*

A partir de todos los datos recogidos por el sistema de alimentación se creó la base de datos con todas las entradas diarias de los animales. A partir de esta base de datos en bruto se efectuó un filtrado de datos a partir de las pesadas manuales que se efectuaron cada 40 días. A partir de las pesadas manuales el algoritmo de filtrado que se programó aceptó como correctos todos los pesos con una variación menor al 10% del peso del día anterior, y a partir de estos datos se calculó un promedio del día (peso válido para el día siguiente). Con respecto al consumo de alimento, los datos fuera de rango se detectaron a partir de la ratio ingestión/minuto de cada visita. Todas las visitas que superaron 3 veces la desviación estándar de todos los datos dentro de la semana analizada fueron descartadas.

Se hicieron dos tipos de análisis estadístico: el primero dividió la base de datos en dos fases (crecimiento y engorde), obteniendo las siguientes variables para cada fase: PV inicial como la media de los pesos de los primeros 7 días; PV final como la media de los pesos de los últimos 7 días de la fase; GMD: ganancia media diaria calculada con la diferencia entre las variables anteriores dividida entre los días totales de la fase; CMD: consumo medio diario, promedio de los consumos diarios en cada fase; IC: Índice de conversión, la relación entre las dos variables anteriores. Estas variables se estudiaron mediante un análisis de varianza donde la variable estaba explicada por el tratamiento, la raza y su interacción. El análisis se realizó mediante el procedimiento GLM con el

paquete estadístico SAS (versión 9.1, Cary, NC). El mismo modelo estadístico se usó en dos análisis, el primero para estudiar el efecto de los niveles de energía (3 niveles) y, posteriormente, para evaluar el efecto de la presentación (harina vs granulado), en este caso solo tomando datos de los lotes de misma energía (media).

Un segundo análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante el ajuste a un modelo polinómico de grado 4 con coeficientes aleatorios (1) que permitió estimar las medias de los niveles de los efectos de los parámetros productivos durante todo el engorde sin separar fases productivas. Para solucionar el modelo se usó el procedimiento MIXED (SAS 9.1).

El mismo modelo estadístico se usó en dos análisis, el primero para estudiar el efecto de los niveles de energía (3 niveles) y, posteriormente, para evaluar el efecto de la presentación (harina vs granulado) en este caso solo tomando datos de los lotes de misma energía (media).

$$(1) Y_{ij} = a_{e/p} + a_r + a_{(r*e/p)} + A_i + (b_{e/p} + b_r + b_{(r*e/p)} + B_i) k + (c_{e/p} + c_r + c_{(r*e/p)} + C_i) k^2 + (d_{e/p} + d_r + d_{(r*e/p)} + D_i) k^3 + e_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} = variable productiva; e/p = efecto energía / efecto presentación; r = efecto raza; e*r/p = interacción entre la raza y la energía / la presentación; A_i , B_i , C_i y D_i = efectos aleatorios del animal i sobre el intercepto, coeficiente lineal, cuadrático y cúbico; k = días de prueba (días); e_{ij} =residuo del modelo

A partir de los diferentes modelos se estimaron las medias mínimo cuadráticas de los diferentes efectos y se efectuaron separaciones de medias mediante el test t con un nivel de significación del 5%.

6.4 Resultados

Durante el periodo experimental, 4 terneros (3 Holstein y 1 Montbeliard) tuvieron que ser excluidos de la prueba, uno por muerte (Holstein) y tres por no adaptarse al sistema de alimentación (2 Holstein y 1 Montbeliard).

En la Tabla 30 se presentan los resultados del efecto de la raza y el nivel de energía sobre los índices productivos en la fase de crecimiento. No se observaron diferencias en el peso inicial ni considerando el efecto raza o la energía como factores principales, indicando así una correcta aleatorización inicial de los lotes.

Tabla 30. Efecto de la raza y el nivel de energía sobre los índices productivos en la fase de crecimiento

	Raza				Energía				
	Ho	Mb	ES	p	Baja	Media	Alta	ES	p
PV inicial, kg	186	181	3.56	0.33	181	185	184	4.36	0.79
PV final, kg	400	410	4.89	0.17	399	414	401	5.99	0.15
GMD, kg/d	1.7 _b	1.82 _a	0.02	<0.0001	1.73 _b	1.82 _a	1.73 _b	0.03	0.02
CMD, kg/d	6.62	6.56	0.11	0.77	6.68	6.5	6.58	0.13	0.59
IC, kg/kg	3.89 _a	3.60 _b	0.08	0.01	3.98 _b	3.70 _a	3.94 _{ab}	0.09	0.06

Ho: Holstein; Mb: Montbeliard; ES: Error Estándar. p: valor p test

Dentro de raza y energía, medias con letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05)

En el efecto raza no se observaron diferencias en el PV final, aunque los animales de la raza Montbeliard presentaron unos pesos medios numéricamente en torno a 10 kg superiores. Este hecho junto con la pequeña diferencia inicial llevo a mostrar diferencias significativas en la GMD a favor de los animales de raza Montbeliard. Con respecto al IC, dado que no se presentaron diferencias estadísticas en consumo, los terneros de raza Montbeliard mostraron una eficiencia estadísticamente superior a los Holstein (P<0.05).

No se observaron diferencias en el PV final al comparar animales alimentados con diferentes niveles de energía, aunque se apreciaron diferencias numéricas a favor del nivel medio. Así, en la GMD el lote con energía media mostró un nivel superior y estadísticamente diferente al resto de lotes (P=0.02). No se apreció ninguna diferencia en cuanto a consumos y la relación entre las variables anteriores llevó a un índice de conversión en esta fase inferior para el lote con nivel medio (P=0.06).

En la Tabla 31 podemos observar el efecto de la presentación de la dieta en la fase de crecimiento. En esta fase la presentación no afectó estadísticamente a ningún parámetro productivo, aunque numéricamente los resultados productivos fueron mejores en el lote alimentado con un concentrado granulado y expandido (el IC de Gr-Ex fue un 4% menor).

Tabla 31. Efecto de la presentación sobre los índices productivos en la fase de crecimiento

	Presentación			
	Granulado y expandido	Harina	ES	p
PV inicial, kg	185	179	4.32	0.33
PV final, kg	414	406	6.39	0.35
GMD, kg/d	1.82	1.80	0.03	0.66
CMD, kg/d	6.50	6.83	0.16	0.15
IC, kg/kg	3.69	3.86	0.12	0.29

GR-EX: Granulado y expandido; HA: Harina; ES: Error Estándar. p: valor p test

La Tabla 32 muestra el efecto del nivel de energía de la dieta en cada raza durante la fase de crecimiento. La interacción entre el efecto raza y el nivel de energía no resultó significativa para ninguno de los índices productivos en la fase de crecimiento con lo que se puede asegurar que el efecto del nivel de energía es consistente entre razas. Con respecto a la GMD observamos que en Holstein la energía media presentó resultados estadísticamente superiores a los otros niveles de energía, como también se observó en Montbeliards pero en este caso solo numéricamente. Ambas razas mostraron diferencias en el IC, aunque no se observaron tales diferencias al comparar energías dentro de cada raza. Aunque las diferencias en IC son importantes (los animales con nivel de energía media mostraron un IC numéricamente inferior que el resto en ambas razas), no se pudieron detectar diferencias estadísticas debido al elevado valor del error estándar.

Tabla 32. Efecto de la raza por el nivel de energía sobre los índices productivos en la fase de crecimiento

	Holstein			Montbeliard			ES	p raza*en energía
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta		
PV inicial, kg	182	190	184	179	179	184	6.14	0.66
PV final, kg	391	414	395	406	414	408	8.47	0.60
GMD, kg/día	1.66 _c	1.77 _b	1.67 _c	1.81 _{ab}	1.87 _a	1.78 _{ab}	0.04	0.01
CMD, kg/día	6.74	6.64	6.48	6.63	6.37	6.68	0.19	0.50
IC, kg/kg	4.19 _c	3.86 _{abc}	4.02 _{bc}	3.78 _{ab}	3.54 _a	3.86 _{abc}	0.13	0.67

ES: Error Estándar p: valor p test

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

En la Tabla 33 se muestra el efecto de la raza y de la energía de la dieta en la fase de cebo. El PV inicial de la fase de cebo se consideró como la media de los pesos de una semana a partir de 15 días desde el inicio de esta dieta para tener en cuenta la adaptación. Así, aunque al final de la fase de crecimiento no se observaron diferencias estadísticas entre razas, en el PV inicial considerado ya existían diferencias entre razas y entre niveles energéticos en la dieta. Los terneros Montbeliard obtuvieron un PV final superior a los Holstein, hecho que se tradujo en diferencias muy significativas en cuanto a GMD. Los terneros Montbeliard fueron capaces de consumir 0.58 kg más concentrado que los Holstein y en consecuencia obtuvieron un IC significativamente inferior a los Holstein ($P=0.004$).

Tabla 33. Efecto de la raza y el nivel de energía sobre los índices productivos en la fase de cebo

	Raza				Energía				
	Ho	Mb	ES	p	Baja	Media	Alta	ES	p
PV inicial, kg	424 _b	446 _a	5.09	0.004	427 _b	446 _a	432 _{ab}	6.23	0.09
PV final, kg	495 _b	535 _a	5.65	<0.0001	504 _b	529 _a	512 _{ab}	6.91	0.04
GMD, kg/d	1.23 _b	1.53 _a	0.03	<0.0001	1.34	1.42	1.38	0.04	0.23
CMD, kg/d	8.68 _b	9.22 _a	0.17	0.03	9.18	8.73	8.95	0.21	0.36
IC, kg/kg	7.69 _a	6.26 _b	0.34	0.004	7.48	6.58	6.88	0.42	0.31

Ho: Holstein; Mb: Montbeliard; ES: Error Estándar. p: valor p test

Dentro de raza y energía, medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

Al analizar el nivel de energía, el lote alimentado con el nivel medio mostró los valores numéricamente más elevados en PV al final de la prueba, aunque solamente presentó diferencias estadísticas frente a los animales alimentados con el nivel bajo de energía. Estas diferencias de peso final no se tradujeron en diferencias estadísticas entre las GMD. El nivel de energía no afectó a los consumos ni a los índices de conversión, aunque la diferencia entre el lote medio y bajo fue relevante a favor del primero siguiendo el mismo patrón observado en la fase de crecimiento.

La diferencia de peso observada entre los terneros alimentados con un concentrado expandido y granulado y aquellos alimentados con una harina al final de la fase de crecimiento, se mantuvo y alcanzó niveles significativos al inicio del cebo (Tabla 34). Esta diferencia se mantuvo al final del cebo ($P=0.01$). No obstante, la presentación del pienso en la fase de cebo no afectó significativamente al resto de variables productivas.

Tabla 34. Efecto de la presentación sobre los índices productivos en la fase de cebo

	Presentación			
	Granulado y expandido	Harina	ES	p
PV inicial, kg	446 _a	423 _b	6.63	0.02
PV final, kg	529 _a	502 _b	7.04	0.01
GMD, kg/d	1.43	1.36	0.04	0.26
CMD, kg/d	8.75	9.11	0.24	0.29
IC, kg/kg	6.59 _b	8.47 _a	0.57	0.02

ES: Error Estándar. p: valor p test

En la Tabla 34 se presentan los resultados productivos del experimento atendiendo a la combinación del nivel de energía de la dieta y la raza utilizada en la fase de cebo. La interacción entre el efecto raza y el nivel de energía no resultó significativa para ninguno de los índices productivos en la fase de cebo ($P>0.05$).

Tabla 35. Efecto de la raza por el nivel de energía sobre los índices productivos en la fase de cebo

	Holstein			Montbeliard			ES	p raza*energía
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta		
PV inicial, kg	415 ^c	438 ^{abc}	420 ^{bc}	439 ^{abc}	453 ^a	444 ^{ab}	8.81	0.85
PV final, kg	486 ^c	511 ^{bc}	488 ^c	522 ^{ab}	546 ^a	536 ^{ab}	9.78	0.73
GMD, kg/día	1.25 ^b	1.26 ^b	1.18 ^b	1.43 ^a	1.59 ^a	1.58 ^a	0.06	0.16
CMD, kg/día	9.03 ^{ab}	8.43 ^b	8.59 ^{ab}	9.32 ^a	9.03 ^a	9.31 ^{ab}	0.30	0.75
IC, kg/kg	7.96 ^b	7.31 ^b	7.81 ^b	7.00 ^{ab}	5.84 ^a	5.95 ^a	0.59	0.74

ES: Error Estándar. p: valor p test

En la variable PV inicial se observaron diferencias que únicamente alcanzaron significación al comparar el mejor y el peor grupo (Montbeliard Medio vs Holstein Bajo); en cambio, en el PV final se observó una diferencia significativa entre razas en todos los tratamientos, pero no entre tratamientos dentro de raza, coincidiendo con los resultados de las tablas anteriores. Aunque no existió una interacción significativa entre raza y nivel de energía para la GMD y el IC, en esta fase de cebo las diferencias entre

energías en la raza Holstein fueron menos importantes que en la raza Montbeliard.

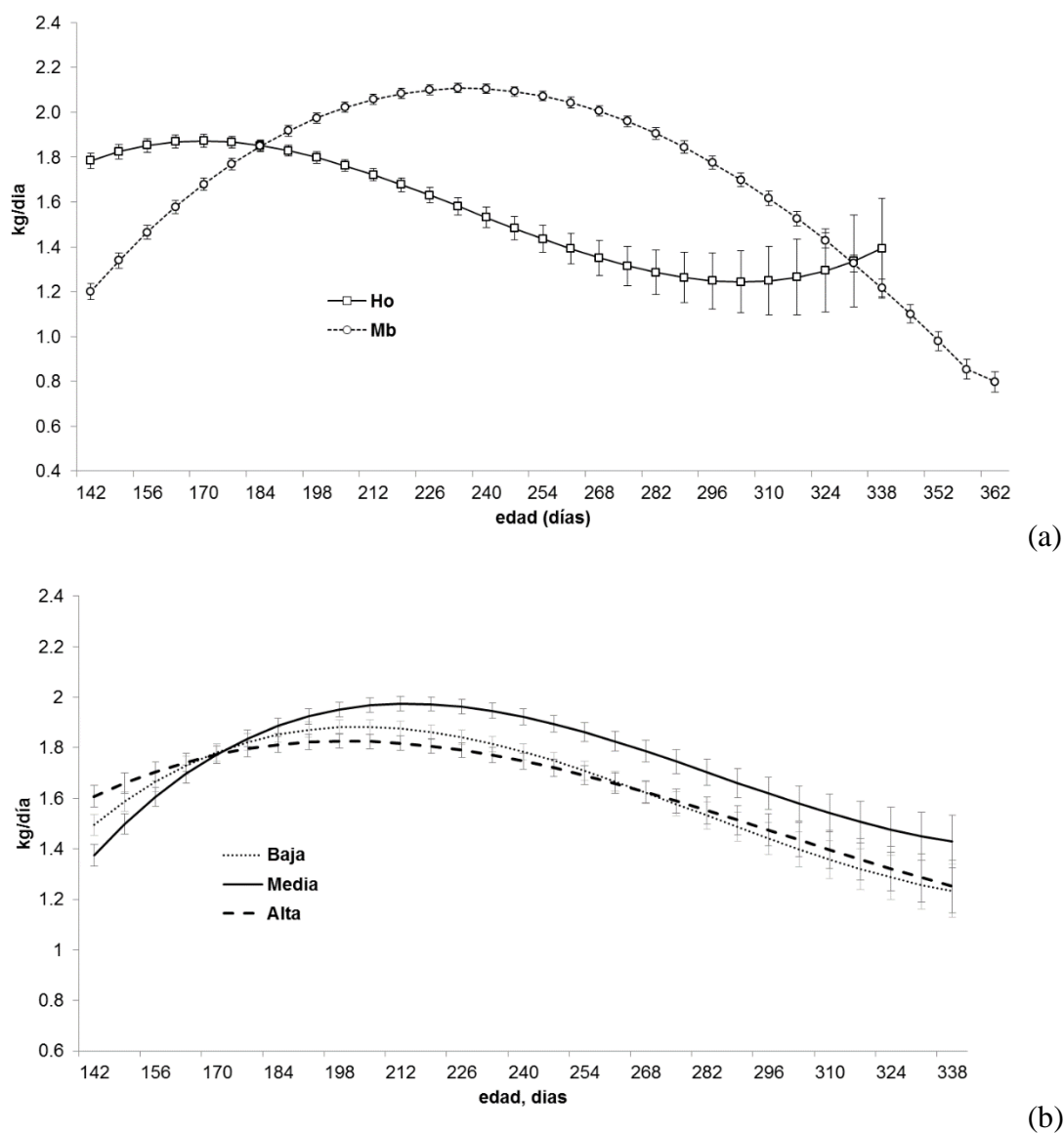


Figura 10. Ganancia media diaria (kg) de la raza (a), (Holstein -□- ; Montbeliard -o-) y de la energía de la dieta (b), (Gr-Bajo ··· , Gr-Medio — , Gr-Alto --). En la gráfica, las barras verticales indican el error estándar de la media.

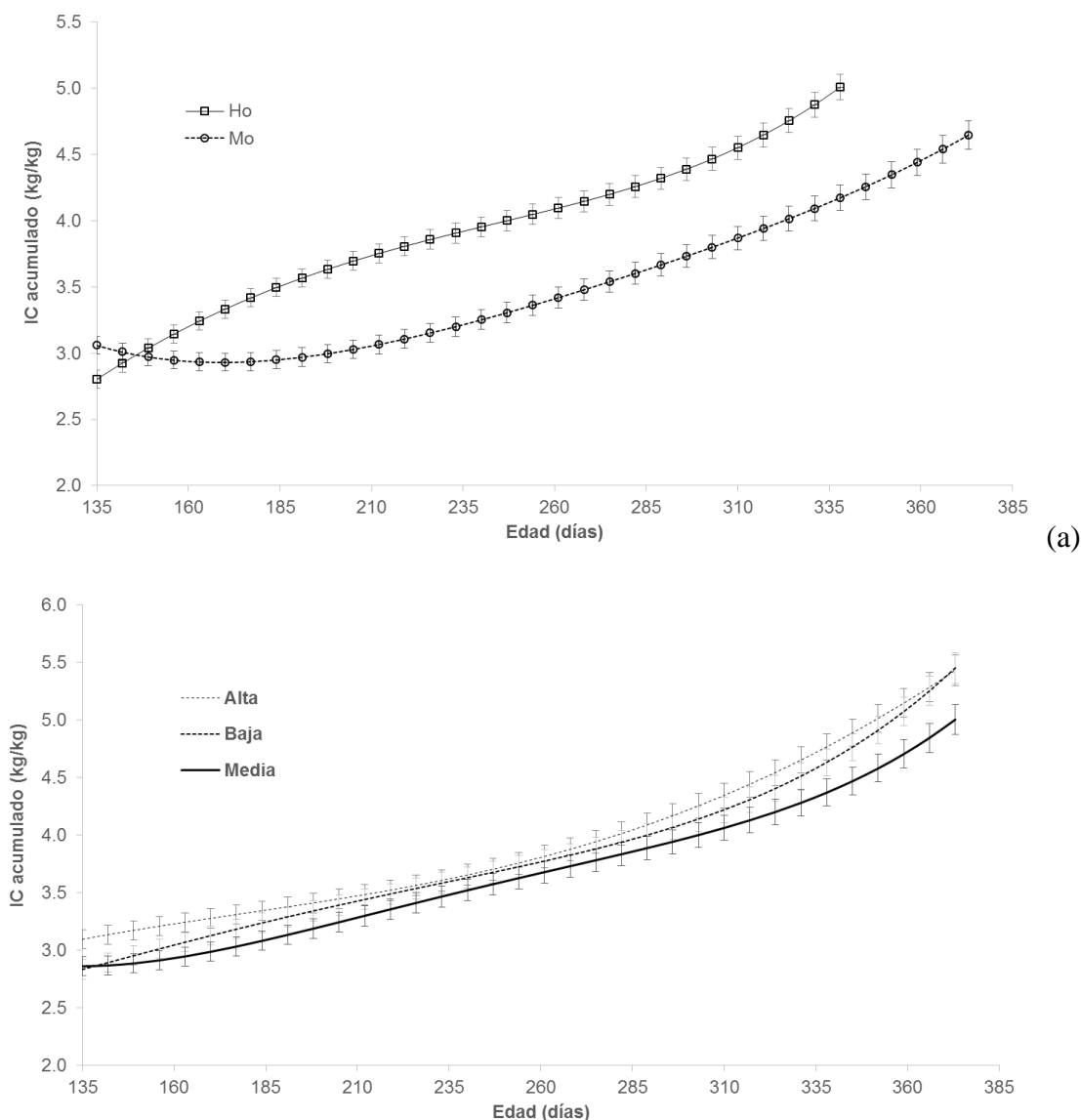


Figura 11. Índice de conversión acumulado (kg/kg) de la raza (a), (Holstein -□- ; Montbeliard -o--) y de la energía de la dieta (b), (Gr-Bajo ···, Gr-Medio — , Gr-Alto --). En la gráfica, las barras verticales indican el error estándar de la media.

En las figuras 11 y 12 se presentan la evolución de la GMD e IC en función de la raza y del nivel de energía a lo largo de toda la experiencia.

Para la GMD por raza (Figura 11a), podemos observar dos curvas totalmente distintas donde las dos razas llegaron a un nivel máximo en diferentes momentos de su vida productiva. Los terneros Holstein comenzaron muy por encima que los Montbeliard pero llegaron al máximo de 1.8 kg/día después de 35 días de prueba (170 días de vida); a partir de esta edad la GMD se fue reduciendo de forma paulatina hasta llegar a 1.2 kg/día. Por

otra parte, los terneros Montbeliard mostraron una tasa de crecimiento que aumentó hasta llegar a 2.2 kg/día a los 100 días de prueba (235 días de vida) rebasando la GMD de Holstein significativamente.

Un factor a destacar es el de la variabilidad presente entre animales en ambas razas. En la raza Holstein, a partir del momento en que se superó el máximo de crecimiento, la variabilidad entre individuos aumentó de forma lineal, con diferencias entre el crecimiento estimado de hasta 1 kg/d entre individuos. En esta fase del crecimiento, y aun siendo animales de edades muy parecidas, algunos animales tuvieron crecimientos muy bajos mientras que otros mantuvieron unos valores cercanos a 1.4 kg/d. En cambio, en la raza Montbeliard la variabilidad también aumentó, pero de una forma mucho menos importante, con diferencia máximas entre animales de 0.4 kg/d.

Con respecto a los valores de GMD expresados en función del nivel de energía (Figura 10b), el lote de energía Media fue superior al resto de niveles, aunque iniciara con un menor crecimiento durante los primeros 35 días de engorde. A partir de los 35 días de prueba, el lote de energía Media mostró una ganancia media diaria superior a los otros dos lotes, pero solo estadísticamente significativa hasta el día 133 de prueba.

La Figura 11 a presenta los valores de IC según la raza estudiada. En la raza Montbeliard el índice de conversión mostrado fue inferior a la raza Holstein gracias a un mayor crecimiento con un consumo similar. Esta diferencia, que se mantuvo durante todo el experimento solo fue estadísticamente significativa hasta el día 133 (270 días de vida). A partir de este momento, la variabilidad de la medida aumentó de forma importante lo que hizo imposible detectar diferencias significativas.

El lote de energía Media presentó en todo momento un IC inferior al resto, es decir, un mejor índice productivo. Esta diferencia únicamente mantuvo una significación estadística hasta el día 21 de prueba, ya que, de nuevo el elevado error estándar derivado de la variabilidad animal no permitió encontrar diferencias significativas a lo largo del engorde.

La caracterización de las pautas de crecimiento y conversión de los dos tipos genéticos utilizados permite su comparación a nivel económico. Utilizando los valores publicados por la lonja de Binéfar en diciembre de 2017 podemos representar el margen bruto de la fase de crecimiento y cebo (142 a 365 días de vida) asumiendo un coste de compra del animal de 50 kg diferente entre razas (1.8 €/kg Ho y 2 €/kg Mb), un coste en la fase de

mamonera equivalente, y un rendimiento canal del 52% para Ho y 54% para Mb. En la Figura 12 se presenta el margen con un precio del pienso de 0.225 €/kg en función de la raza y el peso al sacrificio en dos escenarios de precio de la canal (3 y 3.6 €/kg), y para la raza Montbéliard en función del peso al sacrificio y el precio del concentrado en los mismos escenarios de precio canal.

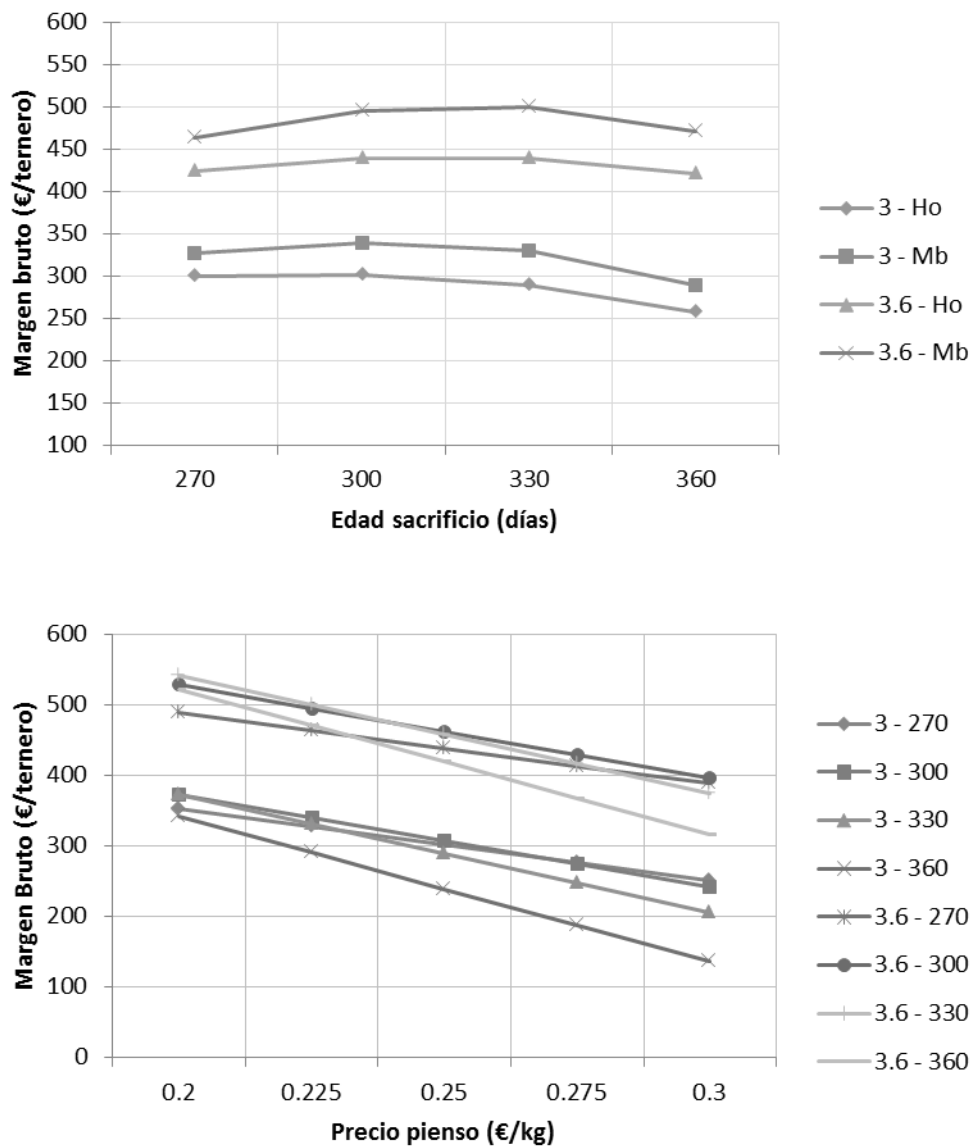


Figura 12. Margen Bruto (sin incluir costes mamonera) en función de diferentes escenarios de raza (Ho, Mb), edad sacrificio (270, 300, 330 y 360 días) y precio canal (3-3.6 €/kg).

La raza Montbeliard tiene mayores márgenes que la Holstein, especialmente cuando el precio de la canal es elevado. En condiciones de precios altos de canal, la edad al sacrificio afecta poco al margen, mientras que a precios bajos los terneros de la raza Holstein reducen su margen cuando se sacrifican con 330 días de edad. Para la raza Montbeliard, en condiciones de precio del concentrado bajo (0.20€/kg) y precio canal bajo no hay diferencias de margen entre las diferentes edades al sacrificio, pero a medida que aumenta el precio el margen de los sacrificios a 330 y 360 días de edad se reduce. En cambio, cuando el precio canal es alto y el pienso barato la venta a 270 días tendría un margen inferior. En el escenario de canal cara el incremento del precio del pienso solo haría reducir el margen a la edad más alta de sacrificio. Hay que aclarar que en el análisis no se ha tenido en cuenta la posible variación del rendimiento canal con la edad, ni el coste de la fase de mamonera. Esto junto con el dinamismo de los mercados del ternero relativiza los resultados presentados en cuanto al margen, pero no en cuanto a la utilidad de los datos productivos para la gestión técnico-económica del engorde de terneros.

Tabla 36. Efecto de la raza sobre los índices de comportamiento durante el engorde

	Día de prueba (edad días)											
	14 (149)			84 (219)			140 (275)			210 (345)		
	Ho	Mb	ES	Ho	Mb	ES	Ho	Mb	ES	Ho	Mb	ES
Consumo diario, kg/d	5.5 _a	4.7 _b	0.12	7.5	7.2	0.15	8.1 _b	9.3 _a	0.2	7.9 _b	9.4 _a	0.34
Visitas	6.9 _a	5.2 _b	0.14	7.1 _a	6.4 _b	0.18	7	6.8	0.26	8.5 _a	7.2 _b	0.43
CV consumo	63.6	65.2	0.71	54.8	55	0.6	53.6 _a	51.5 _b	0.68	55.8 _a	50.3 _b	1.12
Tiempo ingestión, min/d	54.8 _a	47.6 _b	0.92	55.4 _a	48.5 _b	1.43	48	47.5	2.3	39.1	41.6	3.88
Tiempo por visita, min	7.0 _b	10.3 _a	0.22	7.9	8	0.31	7.3	7.5	0.46	4.6	6.1	0.73
Tasa ingestión, g/min	105.3	105.6	2.74	144.6	153.6	3.56	183.7 _b	205.1 _a	5.2	196.9 _b	235.8 _a	8.35
CV Tiempo por visita	86.7 _a	54.2 _b	1.12	62.9 _a	43.4 _b	1.11	56.5 _a	39.9 _b	1.32	47.2 _a	41.9 _b	1.86

Ho: Holstein; Mb: Montbeliard; CV: Coeficiente de variación. ES: Error Estándar. p: valor p test, * significativo (p<0.05), ns no significativo.

Tabla 37. Efecto de la energía sobre los índices de comportamiento durante el engorde

	Día de prueba															
	14 (149)				84 (219)				140 (275)				210 (345)			
	Baja	Media	Alta	ES	Baja	Media	Alta	ES	Baja	Media	Alta	ES	Baja	Media	Alta	ES
Consumo diario, kg/d	5.3 _a	4.8 _b	5.1 _{ab}	0.1	7.3	7.6	7.2	0.2	8.4	8.9	8.8	0.2	8.5	8.7	8.8	0.4
Visitas	6.1	6.0	6.0	0.2	6.8 _{ab}	7.3 _a	6.3 _b	0.2	6.6	7.0	7.0	0.3	7.8	8.2	7.7	0.5
CV consumo	58.6 _c	66 _b	68.5 _a	0.9	55.4 _b	58.2 _a	51.1 _c	0.7	52 _b	55.8 _a	49.8 _b	0.8	51.6	55.3	52.2	1.4
Tiempo ingestión, min/d	56.4 _a	46.8 _c	50.4 _b	1.1	54.1 _a	53.5 _a	48.3 _b	1.7	49.6	48.2	45.4	2.8	36.2	41.8	43.1	4.7
Tiempo por visita, min	10.2 _a	7 _c	8.74 _b	0.3	8.4 _a	7.3 _b	8.2 _{ab}	0.4	8.0	7.1	7.1	0.6	5.0	5.3	5.8	0.9
Tasa ingestión, g/min	98.6 _b	107.4 _{ab}	110.4 _a	3.4	142.2 _b	148.8 _{ab}	156.4 _a	4.4	184.4 _b	196.6 _{ab}	202.3 _a	6.4	234.0	208.6	206.5	10.2
CV Tiempo por visita	60.4 _c	82 _a	68.9 _b	1.4	55.1 _a	58 _a	46.4 _b	1.4	53 _a	52.8 _a	38.8 _b	1.6	43.7	42.9	46.9	2.3

CV: Coeficiente de variación. ES: Error Estándar. Dentro de raza y energía, medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

En la Tabla 36 se presenta el efecto raza durante el engorde en los parámetros de comportamiento estudiados. El consumo diario de concentrado en un inicio fue superior para la raza Holstein, pero la tendencia se invirtió y a partir de los 275 días de edad los Montbeliards fueron capaces de ingerir más. Estos terneros Montbeliard, aunque consumieron más concentrado, lo hicieron con menos visitas diarias al comedero que los Holstein. En general, los terneros dedicaron entre 40 y 60 minutos diarios al consumo de concentrado. Los animales de raza Holstein durante la primera fase de engorde dedicaron más tiempo al consumo de concentrado, relacionado con el mayor consumo de estos en la primera fase. Este efecto desapareció a partir del día 275 de edad.

No se observaron diferencias en cuanto al tiempo por visita al comedero entre razas, excepto en las semanas iniciales, donde los Montbeliards consumieron concentrado durante un tiempo más elevado. En cuanto a la tasa de ingestión se observó un incremento de dicho parámetro a lo largo del engorde. En este parámetro se observaron diferencias entre razas a partir del día 140 de prueba (275 días de edad), con valores más altos en Montbeliard coincidiendo con un mayor consumo en esta fase de los mismos terneros y un mismo tiempo de ingestión que los Holstein.

En la Tabla 37 se puede observar el efecto del nivel de energía de la dieta durante el engorde en los parámetros de comportamiento. El nivel de energía del concentrado no tuvo efecto alguno sobre el consumo en la mayoría del engorde, aunque hasta día 14 de prueba el lote de energía Media mostró consumos significativamente inferiores que el lote de energía Baja ($P < 0.05$). El número de visitas diarias tendió a ser superior en el lote Medio, pero tan solo alcanzó significación estadística en la fase media del engorde (día 84 de prueba). Los terneros que consumieron el tratamiento Baja energía invirtieron más tiempo en las comidas que el resto de lotes durante la primera fase de engorde, cosa que coincidió con los consumos respectivos en esta fase.

6.5 Discusión

El engorde de terneros machos enteros de razas lecheras es considerado en muchos casos como una actividad secundaria a la producción de leche; sin embargo, tiene una importancia económica muy alta en España y, por tanto, es necesario caracterizar sus rendimientos para una correcta gestión técnico-económica en un marco de mercados de inputs y outputs variable. No es fácil encontrar información actual de los crecimientos y conversiones de machos enteros de raza Holstein, y aún menos de Montbeliards. En la Red de Granja Típicas del MAGRAMA (Magrama, 2016) no se contempla ninguna granja de referencia con terneros Holstein en pureza; además, las referencias bibliográficas son antiguas y obtenidas con sistemas de alimentación basados en forrajes con suplementación. Así, Ashfield et al. (2014), en un trabajo de modelización bioeconómica de la producción de terneros en Irlanda, basan buena parte de la información de crecimientos en una “personal communication”. Datos recientes sobre terneros Holstein enteros alimentados con pienso y paja, Kirkland et al. (2006) obtienen unas ganancias de entre 0.7 y 1.3 kg/d con diferentes edades de sacrificio. En un documento técnico de los servicios de extensión del Reino Unido (Vickers y Brown, 2015) proponen como estándar de crecimiento entre 1.2 y 1.4 kg/d hasta los 12 meses. En nuestro entorno, y comparando con los valores de referencia que presenta (FEDNA, 2008) los resultados de este estudio plantean un ternero Holstein macho con un crecimiento superior (1.54 vs 1.32 kg/d considerando todo el engorde) y una mejor conversión (3.89 vs 3.92). Los datos obtenidos en la fase de crecimiento con pesos parecidos también son superiores (1.7 kg/ día vs 1.46 kg/día) a los obtenidos recientemente por Verdú et al. (2017).

Las diferencias de crecimiento con la bibliografía pueden ser un reflejo de la mejor productividad de los terneros actuales como consecuencia del cambio genético tan intenso que se realiza en la raza Holstein, pero también pueden ser debidas a otros factores. En primer lugar, a la diferencia en el origen de los animales; pese a la conexión genética en la raza Holstein a nivel mundial, aún existen diferencias genéticas entre países, así los terneros procedentes de Francia (hijos de madres con un promedio de producción lechera de 9411 kg, WHFF, 2012) no tienen por qué ser iguales que los de Rumania (hijos de madres con un promedio de 6955 kg, WHFF, 2010). Un segundo factor a tener en cuenta es el manejo utilizado en los engordes controlados. El sistema de alimentación en túnel

no es el habitual en las granjas de engorde, con comedero corrido, aunque los resultados de Verdú et al. (2017) no muestran diferencias de rendimiento entre los dos sistemas. Finalmente, se puede discutir el efecto de la muestra sobre los resultados, pero otros engordes realizados en las mismas instalaciones, confirman, a groso modo, los resultados de este estudio. En cuanto a la raza Montbeliard, los datos bibliográficos aún son más escasos. En la granja típica presente en Magrama (2016), los crecimientos publicados son 1.47 kg/d, similares a los tabulados por FEDNA (2008) pero lejos de los 1.69 kg/d obtenidos en el presente estudio.

Las diferencias observadas entre ambas razas pueden ser explicadas por la diferencia en la mejora genética. La raza Montbeliard se considera como de doble propósito, aunque la selección se ha concentrado en la producción lechera (Croué et al. 2017). En los datos oficiales de Francia del ICAR (2016) la raza Holstein producía 9129 kg de leche frente a los 7304 kg de la Montbeliard. En la evolución de la ganancia media diaria y del índice de conversión podemos observar que el máximo de crecimiento de los terneros Holstein se produce sobre los 170 días de edad, mientras que en los Montbeliard ocurre a los 240 días de edad. Esta diferencia de precocidad, posible reflejo de la diferencia en el carácter lechero y peso adulto, también se detecta en la conversión, que aumenta de forma importante en los Holstein a partir de ese punto de inflexión del crecimiento sobre los 6-7 meses de edad. Los terneros Montbeliard, en cambio mantienen una conversión baja hasta los 8-9 meses de vida.

Estas diferencias en el patrón de crecimiento entre las dos razas se observan también en el comportamiento. Los terneros Montbeliard presentan un tiempo total de ingestión inferior a los Holstein en la primera fase del engorde, siendo los datos de Holstein similares a los encontrados en bibliografía (Verdú, 2016), no así en visitas totales en comedero donde obtiene mayor número de visitas (7 vs 11); esta diferencia se podría atribuir al diferente sistema de contabilización (sistema de chips en comedero túnel vs video) ya que en el sistema de chips únicamente se contabiliza una visita cuando el animal entra al comedero y consume concentrado.

En la primera fase de engorde los terneros Montbeliard tuvieron un índice de conversión inferior a los Holstein (Tabla 30). Estos resultados encajan con los observados por Nkrumah et al. (2007), que mostraban una correlación negativa entre el tiempo total de ingestión y la digestibilidad de la materia seca. El número de visitas también se ha

relacionado con la digestibilidad de la fibra (Nkrumah et al., 2007), siendo esta inferior en los terneros con más visitas. En este sentido, los terneros Montbeliards presentaron durante todo el estudio menos visitas que los Holstein. Estos resultados acercan la posibilidad de poder utilizar valores de comportamiento obtenidos mediante el uso de sistemas automáticos como aproximaciones sobre la eficiencia productiva de los animales y potencialmente predecir el potencial productivo de un animal en fases tempranas.

Los piensos diseñados para la prueba son muy similares en cuanto a energía por lo que se podrían esperar pocas diferencias. Por otro lado, algunos de los piensos de la raza diseñados para la raza Montbeliard se situaban por encima de 1.05 UFC/kg. Según FEDNA (2008) este sería el valor máximo permitido para garantizar una correcta función ruminal. Analizando los diferentes parámetros estudiados el nivel que mejores resultados obtiene es el nivel intermedio, cerca del valor propuesto por FEDNA (2008) pero para crecimientos muchos menores. Además, este resultado es consistente en las dos razas, pese a que las diferencias detectadas en cuanto a precocidad podrían hacer pensar que la raza Montbeliard respondería mejor a una mayor energía de la ración (Robelin y Daenicke 1980); no obstante, otros autores (Fiems et al. 1998) estudiando razas mucho más tardanas como la Blanco Azul Belga tampoco encontraron efectos del nivel de energía sobre el crecimiento de los terneros. El nivel intermedio también tiene, en la fase de crecimiento, unos resultados en cuanto a comportamiento alimenticio que indicarían una mejor digestibilidad de esta dieta (menos visitas y menos tiempo de ingestión para una ingestión muy similar a los otros niveles). Cuando se comparan raciones con diferentes niveles nutricionales hay que tener en cuenta que, para mantener el resto de nutrientes equilibrados, es necesario modificar la proporción de inclusión de diferentes ingredientes, lo que puede confundir el efecto del tratamiento (en este caso nivel de energía) con el efecto de la diferencia de composición del pienso.

En cuanto a la presentación del pienso, y en comparación con la harina, el procesado mediante expansión y granulado tiene dos objetivos: primero mejorar la digestibilidad del pienso, efecto ya demostrado en otras especies (Soler, 2014) y segundo reducir las pérdidas en el comedero.

La extrusión de las materias primas es un método ampliamente utilizado en piensos para monogástricos por un uso más eficiente de carbohidratos (Gallant et al., 1992). Sus ventajas son menos evidentes en los rumiantes por el efecto del rumen en la fermentación del almidón (Theurer, 1986; Prestløkken y Harstad, 2001) sería de poco interés, o incluso

indeseable (Ørskov, 1986). Un aumento del almidón puede disminuir el pH del rumen, y una disbiosis ruminal (Poore et al., 1993). Además, los ácidos grasos volátiles resultantes de la fermentación microbiana son utilizados menos eficientemente que la glucosa como fuente de energía (Reynolds et al., 1997). Existe una amplia bibliografía indicando que una buena calidad de pellets mejora la eficiencia alimenticia en comparación con las presentaciones en harina (Jensen y Becker, 1965; Trevis, 1979; Kertz et al., 1981; Jones, 1985; Zadari y otros, 1990; Stark et al., 1994). En nuestro caso se observa un efecto positivo del procesado en comparación con la harina en la fase de crecimiento, pero no en la de cebo. Estos resultados encajan con los presentados por Verdú et al. (2017) en los que encuentra diferencias, pero tan solo numéricamente. Este mejor rendimiento de los animales de los lotes con pienso expandido y granulado se podría explicar por una mejor digestibilidad, pero no se observaron diferencias en el comportamiento alimenticio. La reducción de pérdidas en comedero que describen Verdú et al. (2015) de 0.06kg/día por ternero coinciden con las observaciones cualitativas de nuestro experimento, que demostraban mayores restos de pienso alrededor del comedero en los animales consumiendo harina.

Los estudios de crecimiento presentes en la bibliografía generalmente muestran una mayor eficiencia en la utilización de alimentos cuando el cereal es procesado (Owens et al., 1997) y la extrusión de concentrado ha demostrado tener algunos efectos positivos resultados en terneros jóvenes, cuando la fermentación ruminal aún no está completamente establecida y los requerimientos de proteína son más altos (Chester-Jones et al., 1990; Albro et al., 1993; Serrano et al., 1998).

6.6 Referencias Bibliograficas

Albro, J. D., D. W. Weber, y T. DelCurto. 1993. Comparison of Whole, Raw Soybeans, Extruded Soybeans, or Soybean Meal and Barley on Digestive Characteristics and Performance of Weaned Beef Steers Consuming Mature Grass Hay. *Journal of Animal Science* 71 (1): 26-32. <https://doi.org/10.2527/1993.71126x>.

- Ashfield, A., M. Wallace, R. Prendiville, y P. Crosson. 2014. Bioeconomic modelling of male Holstein-Friesian dairy calf-to-beef production systems on Irish farms. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 53 (2): 133-47.
- Castillo, C., J. Hernández, J. Méndez, J. Llena, V. Pereira, M. López-Alonso, y J. L. Benedito. 2006. Influence of Grain Processing on Acid–Base Balance in Feedlot Steers. *Veterinary Research Communications* 30 (7): 823-37. <https://doi.org/10.1007/s11259-006-3339-8>.
- Chester-Jones, H., M. D. Stern, A. Su, J. D. Donker, D. M. Ziegler, y K. P. Miller. 1990. Evaluation of Various Nitrogen Supplements in Starter Diets for Growing Holstein Steers and Their Effects on Ruminal Bacterial Fermentation in Continuous Culture. *Journal of Animal Science* 68 (9): 2954-64. <https://doi.org/10.2527/1990.6892954x>.
- Conafe, 2017. Confederación de Asociaciones de Frisona Española <http://www.conafe.com/> 27/05/2018
- Croué, I., M.N. Fouilloux, R. Saintilan, y V. Ducrocq. 2017. Carcass traits of young bulls in dual-purpose cattle: Genetic parameters and genetic correlations with veal calf, type and production traits. *Animal* 11 (6): 929-37. <https://doi.org/10.1017/S1751731116002184>.
- Deblitz, C. (2013). Beef and Sheep Network. Obenido de: www.agribenchmark.org/fileadmin/Dateiablage/B-Beef- and-Sheep/Working-Paper/bs- 05-USEU-neu.pdf.
- FEDNA, 2008. Necesidades nutricionales para rumiantes de cebo. Normas FEDNA. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.
- Fiems, L. O., S. de Campeneere, D. F. Bogaerts, B. G. Cottyn, y Ch. V. Boucqué. 1998. The Influence of Dietary Energy and Protein Levels on Performance, Carcass and Meat Quality of Belgian White-Blue Double-Muscléd Finishing Bulls. *Animal Science* 66 (02): 319-27. <https://doi.org/10.1017/S1357729800009449>.
- Gallant, D.J., B. Bouchet, A. Buleon, y S. Perez. 1992. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. *European Journal of Clinical Nutrition* 46 (SUPPL. 2): S3-s16.

- Jensen, L.S., G.O. Ranit, R.K. Wagstaff, y J. McGinnis. 1965. Protein and lysine requirements of developing turkeys as influenced by pelleting. *Poultry science* 44 (6): 1435-41. <https://doi.org/10.3382/ps.0441435>.
- Jones, F. 1985. Does Feeder Management Make a Broiler Grow Good?. Break Through, vol. 9, North Carolina State University
- Kertz, A. F., B. K. Darcy, y L. R. Prewitt. 1981. Eating Rate of Lactating Cows Fed Four Physical Forms of the Same Grain Ration. *Journal of Dairy Science* 64 (12): 2388-91. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82861-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82861-5).
- Magrama, 2013. El sector de la carne de vacuno en cifras. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Centro de publicaciones. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia>.
- Magrama, 2017. Informe Nacional de vacuno de carne 2016. RENGRATI. Madrid. España.
- Magrama, 2016. El sector de la carne de vacuno en cifras. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Centro de publicaciones. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia>.
- Nkrumah, J. D., E. K. Okine, G. W. Mathison, K. Schmid, C. Li, J. A. Basarab, M. A. Price, Z. Wang, y S. S. Moore. 2006. Relationships of Feedlot Feed Efficiency, Performance, and Feeding Behavior with Metabolic Rate, Methane Production, and Energy Partitioning in Beef Cattle. *Journal of Animal Science* 84 (1): 145-53. <https://doi.org/10.2527/2006.841145x>.
- Organisme de Sélection de la Race Montbéliarde, 2010. www.montbeliarde.org
- Ørskov, E. R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1624–1633.
- Owens, Fredric N., David S. Secrist, W. Jeff Hill, y Donald R. Gill. 1997. The Effect of Grain Source and Grain Processing on Performance of Feedlot Cattle: A Review. *Journal of Animal Science* 75 (3): 868-79. <https://doi.org/10.2527/1997.753868x>.
- Poore, M. H., J. A. Moore, T. P. Eck, y C. B. Theurer. 1993. Effect of Fiber Source and Ruminant Starch Degradability on Site and Extent of Digestion in Dairy Cows.

Journal of Dairy Science 76 (8): 2244-53. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77561-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77561-X).

- Prestløkken, Egil, y Odd Magne Harstad. 2001. Effects of expander-treating a barley-based concentrate on ruminal fermentation, bacterial N synthesis, escape of dietary N, and performance of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 90 (3): 227-46. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00207-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00207-3).
- Reynolds, C. K., J. D. Sutton, y D. E. Beever. 1997. Effects of Feeding Starch to Dairy Cattle on Nutrient Availability and Production. *Recent Advances in Animal Nutrition*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302875542>.
- Robelin, J., Daenicke, R. Variations of net requirements for cattle growth with liveweight, liveweight gain, breed and sex. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 1980, 29 (hors s'erie), pp.99-121.
- Serrano, X, M. D Baucells, A. C Barroeta, y F Puchal. 1998. Effects of extruded diet on the productive performance of weaning and post-weaned calves. *Animal Feed Science and Technology* 70 (3): 275-79. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00082-5).
- Soler, P., M.D. Soler, M.D., Mateos, M., Barragán, J.I., Garcés, C. 2014. Estudio preliminar del efecto de la presentación del pienso (harina frente a gránulo) sobre los rendimientos productivos y de canal en pollos de carne. Departamento de Producción y Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad CEU Cardenal Herrera
- Solanas, E., C. Castrillo, X. Serrano, H. Janacua, M. Fondevila, and J. A. Guada. 2005. Effect of Concentrate Extrusion and Castration on Diet Digestion and Performance of Intensively Reared Male Calves. *Livestock Production Science* 94 (3): 225–36. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.12.003>.
- Stark, C. R. 1996. Pellet quality. I. Pellet quality and its effect on swine performance. II. Functional characteristics of ingredients in the formation of quality pellets. Ph.D. dissertation. Manhattan, KS: Kansas State University.
- Theurer, C. Brent. 1986. Grain Processing Effects on Starch Utilization by Ruminants. *Journal of Animal Science* 63 (5): 1649-62. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351649x>.

- Trevis, J. 1979. Size and quality of pellets may influence feed usage. *Feedstuffs* p. 20
- Verdú, M., A. Bach, y M. Devant. 2015. Effect of concentrate feeder design on performance, eating and animal behavior, welfare, ruminal health, and carcass quality in Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Journal of animal science* 93 (6): 3018-33. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8540>.
- Verdú, M., A. Bach, y M. Devant. 2016. Effect of concentrate presentation form on concentrate wastage, eating pattern, and concentrate preference in Holstein bulls fed a finishing high-concentrate diet. *Animal Feed Science and Technology* 219: 257-67. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.06.019>.
- Verdú, M., A. Bach, y M. Devant. 2017. Effect of feeder design and concentrate presentation form on performance, carcass characteristics, and behavior of fattening Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Animal Feed Science and Technology* 232: 148-59. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.07.003>.
- Vickers, M, y C Brown. 2015. Better Returns from Pure Dairy-Bred Male Calves.”Agriculture & Horticulture Development Board. files/2741/BRP-Manual-10-Pure-bred-dairy-bred-male-calves-250815.pdf.
- WHFF, World Holstein Friesian Federation. <http://www.whff.info/2010>
- WHFF, World Holstein Friesian Federation. <http://www.whff.info/2012>
- Zatari, I. M, Ferket, P.Schiedler, S. E. 1990. Effect of pellet integrity, calcium lignosulfonate, and dietary energy on the performance of summer-raised broiler chickens. *Poult. Sci.* 69(Suppl. 1):198.

7 DISCUSIÓN GENERAL

La mayoría de los temas que se discuten en esta tesis doctoral han sido tratados en mayor o menor medida en investigaciones realizadas en los últimos 50 años. Las publicaciones en el ámbito de la concentración energética, o tipo de presentación del concentrado, datan principalmente de los años 80 y 90 del siglo pasado. Pero las granjas de engorde de terneros en nuestra zona se enfrentan a dos retos a la hora de aplicar a nivel de campo los resultados de la investigación realizada. Por un lado, la diferencia de las raciones utilizadas en las investigaciones publicadas y las que se usan en el sur de Europa (i.e. nivel de concentrado), y, por otro lado, los factores externos cambiantes que pueden afectar a la aplicabilidad de la información publicada. Entre estos factores cambiantes destacan el marco económico, la genética utilizada, o la mejora de las instalaciones de fabricación de piensos. En la búsqueda de metodologías de investigación adecuadas a nivel de granja, se han desarrollado múltiples enfoques. Desde un punto de vista instrumental, se pueden distinguir tres grupos de metodologías (Sterk et al., 2007): (1) modelización informática; (2) experimentos en granjas experimentales; (3) investigación con granjas comerciales.

En esta tesis se ha realizado una aproximación basada en técnicas experimentales *in vitro* e *in situ*, pero intentando mantener unas condiciones lo más parecidas posibles a las de las granjas comerciales (ver en el siguiente apartado la discusión sobre el tipo de donante para las técnicas *in vitro*). De hecho, la metodología *in situ* se realizó con animales alojados en la granja experimental de la Cooperativa de Ivars. De forma paralela, se ha realizado una investigación en la misma granja experimental. Esta granja se define como experimental por las instalaciones que le permiten un control exhaustivo de los animales, pero incluida en un sistema de producción comercial. Así, aunque las instalaciones de la granja no se pueden considerar como comerciales, la fabricación de los piensos se realizó a escala comercial en la fábrica de piensos de la Cooperativa de Ivars.

Este marco de estudio experimental-comercial, tiene inconvenientes ligados a una menor capacidad de gestión de la investigación, pero permite testar la viabilidad real de las propuestas estudiadas. Así, no todos los tratamientos con efectos positivos observados a nivel *in vitro* pueden llevarse a cabo en la práctica habitual de la fábrica de piensos. En el caso del estudio de la temperatura de expansión de piensos, pese a la ventaja en cuanto a rendimiento ruminal que se ha observado en los tratamientos a 120 °C, superar la barrera

de 110°C causa una modificación física en el producto que imposibilita el trabajo en fábrica.

El intento de estudiar mejoras a nivel de granja comercial pasa por reducir los costes de alimentación. Como ya se ha visto, el precio del pienso es uno de los factores que más influye en la rentabilidad del engorde de terneros. La optimización de los niveles nutricionales para los diferentes genotipos es entonces un punto clave. Si nos centramos en la optimización del nivel de energía las referencias bibliográficas son concluyentes en la relación entre nivel de energía y rendimiento. Además, se puede criticar el diseño del estudio puesto que los niveles bajos y altos testados en este estudio no difieren mucho y son muy similares al valor habitual de la fábrica de pienso propietaria de la granja experimental, por lo que era esperable que no se encontraran diferencias muy importantes a nivel productivo. Aun así, la diferencia de energía puede ser relevante a nivel económico si consideramos que la diferencia de coste de fabricación entre los piensos con nivel bajo y los de nivel alto es de 13.3 €/tm. Esta diferencia supone un 6% del precio medio del pienso, que en el global de la fabricación anual de la fábrica puede suponer 750.000€ de ahorro.

El ajuste correcto de las necesidades de los animales y los aportes de la ración son cruciales no solo a nivel económico, sino también a nivel ambiental. Este ajuste se puede hacer a nivel de sistema productivo, dentro del sistema a nivel de estadio de producción, y finalmente a nivel de animal (alimentación de precisión). Pero esta alimentación de precisión requiere la actualización de algunos de los parámetros que afectan al cálculo de necesidades de los animales, que debido a la mejora genética cambian generación a generación. Así, aunque los niveles energéticos planteados en este documento coinciden aproximadamente con los máximos y mínimos propuestos por FEDNA (2008) y el sistema de valoración INRA en sus diferentes versiones, los resultados de crecimiento obtenidos son muy superiores a los propuestos por los mismos sistemas de racionamiento. En la Figura 13 se puede observar que, en la fase de crecimiento, 400 kg de PV, la ratio crecimiento por unidad de energía de la ración es superior en los resultados obtenidos en nuestros experimentos frente a las propuestas de FEDNA e INRA.

Los animales que se van a engordar en el 2019 son hijos de vacas resultado de una mejora genética muy intensa para incrementar la producción lechera. Esta selección para incrementar la producción ha proporcionado animales más eficientes por unidad de

alimento consumida y digerida (Potts et al., 2017) aunque es posible que a costa de una mayor ingestión y un mayor ritmo de paso sin un incremento de la digestibilidad. Pero esta misma selección por producción lechera está correlacionada positivamente con el peso de los animales al año. De hecho, el incremento en el peso al año de terneros Holstein en Israel paso de 415 a 470 entre el 1992 y el 2007 (Weller y Ezra, 2008). Por tanto, es necesario actualizar la información sobre este tipo de animales, con gran cambio genético a lo largo de los años.

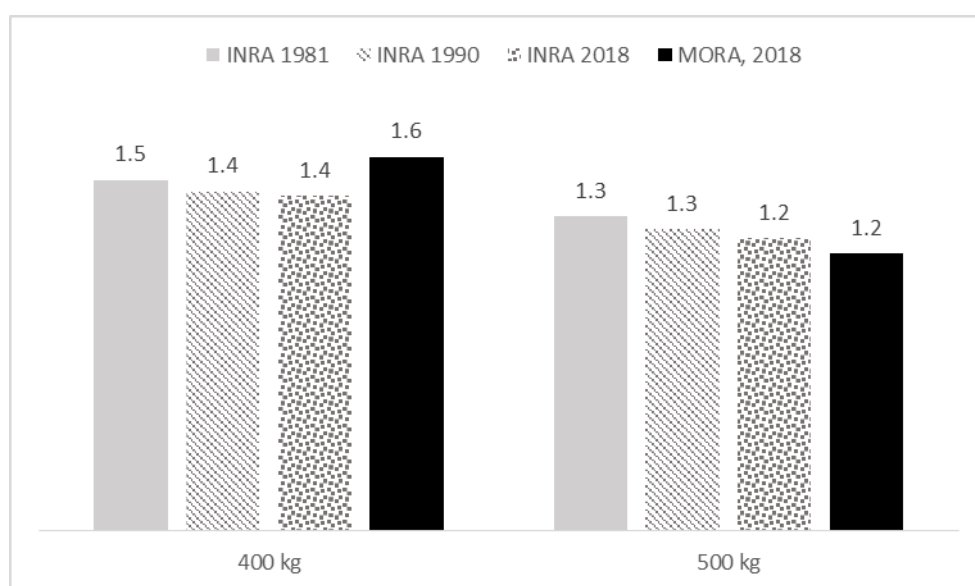


Figura 13. Ratio Ganancia media diaria sobre energía de la ración (UFC) en las diferentes versiones del INRA y en los resultados del estudio

El sistema de alimentación usado en la granja experimental del estudio consistía en un túnel que permitía un control individualizado del peso y consumo de cada animal. Este es un primer paso para los futuros sistemas de alimentación de precisión. La alimentación de precisión es una rama de la ganadería de precisión que pretende mejorar la eficiencia de utilización de los nutrientes mediante un mejor ajuste de los suministros a las necesidades individuales de los animales (Ferket et al., 2002). Pero el uso de estos sistemas a nivel de granja comercial tiene dos puntos que aún se tienen que mejorar. El primero, la robustez del equipo que le permita una vida útil larga, y con un mantenimiento mínimo, a un precio que compense los beneficios económicos que conlleva (con la dificultad que supone valorar el beneficio económico de la reducción de emisiones que puede conllevar la alimentación de precisión). El segundo es la gestión de los datos. En nuestro caso, se desarrolló un algoritmo propio para filtrar los datos brutos registrados

por el equipo automático (en concreto se eliminó un 30% de los registros después del filtrado). La dificultad de definir un algoritmo genérico para el filtrado de datos en estaciones de consumo automáticas es evidente cuando una de las sesiones del congreso de la European Association of Animal Production del año 2018, “Hacia un sistema integrado desde los datos a la solución o decisión”, trató aspectos como la combinación de datos de diferentes sensores (Pastell y Frondelius, 2018) o algoritmos para el pesado automático de cerdos (Stygar y Kristensen, 2018; Quiniou et al., 2018).

Los terneros del experimento tuvieron una variabilidad individual importante. Los coeficientes de variación de los parámetros de comportamiento, como el tiempo de consumo total o el peso consumido por visita, tienen coeficientes de variación entre animales y dentro de día entre el 40 y el 80%. Existe un gran margen de mejora si se puede llegar a adaptar unas raciones adaptadas según el potencial y comportamiento del animal, para ello necesitamos de tecnologías de bajo coste que permitan la identificación y fenotipado en tiempo real de los animales (Fuente et al., 2018).

Como se ha dicho antes, la optimización del sistema de engorde de terneros tiene que abordarse en el marco económico en el que se sitúa. En este momento, en algunas de las zonas de mayor densidad de granjas de engorde de terneros también se encuentran zonas agrarias que intentan rentabilizar el coste de la tierra y del agua con una doble cosecha. En este contexto, la viabilidad del uso de maíz cosechado en diferentes formas se ha de abordar estudiando su aprovechamiento por parte del animal, pero también por la posibilidad de obtener una doble cosecha con un cereal de invierno temprano, como la cebada, para posteriormente obtener un maíz de ciclo corto cosechado temprano para obtener *pastone*, con una reducción de los costes de producción por hectárea (Lloveras y Cabases, 2014). A partir de la información de costes por hectárea de cebada y maíz en condiciones de la provincia de Lleida, de la producción de materia seca media, y de la información de digestibilidad obtenida en este estudio, el coste de producción de un kg de materia orgánica digestible es 312, 322, 291 y 292 €/tn MO digestible para el maíz seco en monocultivo, cebada y maíz seco en doble cosecha, cebada y *pastone* en doble cosecha, y cebada y *pastone* integral en doble cosecha. Por tanto, en combinación con un engorde de terneros integrado, la producción de *pastone* o *pastone* integral en doble cosecha son económicamente más rentables que el maíz en monocultivo.

Dada la problemática sobre la investigación con animales en la actualidad, es necesario la validación de sistemas indirectos para minimizar el impacto sobre los animales. En nuestro caso los estudios *in vitro* e *in situ* han ofrecido resultados consistentes, pero los resultados *in situ* son menos potentes a nivel estadístico debido al reducido número de animales incluidos (por motivos de bienestar animal) y a una mayor variabilidad de los resultados en condiciones de campo. Por otro lado, cabe destacar la consistencia que también existe entre los tratamientos que se detectaron como mejores en las evaluaciones de fermentación ruminal *in vitro* e *in situ* y los que tuvieron mejores índices productivos *in vivo*.

A nuestro entender, una de las claves de la representatividad de los estudios *in vitro* para evaluar productos para rumiantes se basa en que representen al máximo al tipo de animal de destino. La bibliografía (Balch et al., 1980) atribuye al inóculo la mayor fuente de variación en la fermentación del rumen. La mayoría de estudios encontrados en la bibliografía en técnicas *in vitro* utilizan inóculo procedentes de moruecos con alimentación basada con alfalfa.

En el caso de los estudios que caracterizan alimentos se puede defender la validez de utilizar un tipo de animal de referencia como donante para ofrecer un valor de referencia y comparable con los obtenidos en otros laboratorios. Pero en estudios para evaluar un tratamiento o protocolo dirigido a una especie y sistema productivo concreto (por ejemplo, ternero de engorde con alimentación pienso y paja), y si se pretende unos resultados discutibles a nivel económico, parece más razonable usar inóculos de animales con el mismo sistema productivo y tipo de alimentación. La obtención de este inóculo puede ser ligeramente más complicado que la obtención de un animal canulado de laboratorio, pero existen posibilidades viables como son la obtención post-mortem en matadero o *in vivo* mediante sonda esofágica.

A la hora de evaluar el nivel energético de los piensos, el nutriente más influyente a tener en cuenta es el almidón, debido a su alto porcentaje en los ingredientes más comúnmente utilizados en la formulación de piensos. En la bibliografía existe mucha información en cuanto a la degradabilidad del almidón, pero asimismo se conoce que hay una alta variabilidad sobre su absorción a nivel intestinal. En general está aceptado que al someter la materia prima a humedad, alta presión y temperatura, se aumenta la disponibilidad del almidón, en la manera que los gránulos de almidón se presentan más accesibles para la

fermentación ruminal y enzimática (Huntington, 1997) y se acelera la gelatinización con el rápido aumento de temperatura (Peisker, 1992); por lo contrario la distribución óptima de la digestión del almidón entre el rumen y el resto de aparato digestivo no se ha determinado (Reynolds et al., 2001). Es necesaria más información en este aspecto para poder evaluar de forma fehaciente el tipo de tratamiento térmico o tipos de cereales necesarios para una utilización óptima de la energía tanto a nivel ruminal como postgástrica.

La eficiencia de utilización de la energía absorbida procedente del almidón digerido en el intestino delgado se piensa que es superior a aquella degradada en el rumen (Armstrong et al., 1960; Owens et al., 1986; McDonald et al., 1995). La digestión en el intestino delgado proporciona glucosa mientras que, tanto en el rumen como en el intestino grueso, el producto obtenido de la degradación del almidón son los AGVs, de los cuales solamente el propiónico contribuye de forma neta a la síntesis de glucosa en el hígado (Armstrong et al., 1960; Ørskov et al., 1969; Tyrrell y Moe, 1974). Karr et al. (1966) estudiaron el efecto de incluir cantidades crecientes de almidón en dietas para ternero de cebo, llegando hasta un 80% de maíz (63,5% almidón) en la dieta más extrema. En esas condiciones, el intestino delgado no es capaz de absorber todo el almidón disponible, con lo que una fracción pasaría al intestino grueso y eventualmente se perdería a nivel fecal. Estos resultados indican que hay un límite en la absorción del almidón postruminal, y que se encuentra entre un 50 y 60 % de almidón en la dieta (Karr et al. 1966). En nuestras condiciones, las dietas propuestas en la memoria de la presente tesis aportaban un 40% de almidón en la ración, con lo que teóricamente la cantidad de almidón no absorbido en el intestino delgado sería mínima, aunque sujeta a diversos factores como los ya mencionados en párrafos anteriores.

En una revisión publicada por Offner et al. (2003) en la que utilizaron 22 materias primas diferentes, se observó que la Degradabilidad Efectiva era superior en trigo y cebada, comparada con el maíz (0.937 y 0.954 vs 0.607 en ingredientes sin procesar). Durante la preparación de los piensos comerciales de la Cooperativa de Ivars evaluados en este trabajo, hubo que modificar la proporción entre diferentes cereales para poder cambiar la concentración energética de los piensos manteniendo lo más parecidos posibles el resto de nutrientes. Así pues, los concentrados redujeron su proporción relativa de maíz (del 44.3 al 22.6%) y aumentaron la de cebada (del 5 al 36.5%). Dada la imposibilidad técnica

de modificar la concentración energética de un pienso sin variar la fórmula, hemos de aceptar que cada cereal tiene una degradabilidad diferente entre sí y afecta al pienso según su porcentaje de inclusión en el mismo. Así pues, a la hora de extrapolar conclusiones, se ha de distinguir claramente entre estudios específicos de materias primas y los de piensos compuestos. En nuestras condiciones se esperaba un aumento en la DE en piensos con una mayor concentración energética y efectivamente, los resultados, aunque solo numéricamente, se mostraron superiores en estos casos (ver tabla 13).

Como se observa en la Figura 13, parece que en las últimas décadas la mejora genética y la capacidad de producir alimentos de mayor calidad ha modificado la eficiencia del uso de alimentos. Los terneros en crecimiento actuales disponen en general de unas tasas mayores de crecimiento para piensos de similar o incluso inferior concentración energética. Ese aumento podría estar causado por una mayor eficiencia metabólica de utilización de los nutrientes disponibles, pero también por una modificación en las cinéticas de tránsito del alimento, de tal forma que los valores actuales fijados para el ritmo de tránsito en animales en crecimiento ($k = 0.05$) o en lactación ($K=0.08$) podrían no ajustarse a los ritmos de paso en condiciones actuales. El ritmo de tránsito tiene una relación directa con el plano de alimentación (AFRC, 1993), ya que, a mayor consumo, cabe esperar un aumento en la velocidad de tránsito. Los resultados obtenidos en el Capítulo IV de la presente tesis muestran unos crecimientos diarios de terneros Holstein (1.7 y 1.2 kg/d en crecimiento y cebo, respectivamente), superiores a lo mostrado en bibliografía (Potts et al., 2017), así como unos consumos un 20 % superiores a los indicados en FEDNA (2008) para animales en crecimiento (6.5 vs 5.5 kg/d). Estos resultados, lejos de ser una excepción, expresan una situación habitual en los sistemas de engorde de terneros actualmente presentes en el área mediterránea, y cabe plantear si se deberían redefinir los valores actuales de “k” establecidos para animales en crecimiento. La primera consecuencia de infravalorar el ritmo de paso del alimento a través del rumen, es la presunción de una mayor degradabilidad efectiva de los alimentos de la real. Por dar un simple ejemplo, con los valores de cinética de degradación mostrados en la tabla 13 (capítulo I) para la ración R1F, un valor de k de 0.06 supondría un descenso de la degradabilidad efectiva de en torno a un 3%. Como ya se ha discutido previamente, una menor degradabilidad del alimento incide no únicamente en la capacidad de fermentación dentro del rumen, sino también en la proporción de nutrientes no fermentados digeribles,

que eventualmente tiene una relación directa con la eficiencia de utilización a nivel metabólico de diversos nutrientes, ya vengan del rumen o del intestino delgado.

7.1 Bibliografía

AFRC, 1993. Agricultural and Food Research Council (AFRC). Energy and Protein Requirements of Ruminants, CAB International, Wallingford, UK (1993)

Armstrong, D. G., K. L. Blaxter and N. McC. Graham., 1960. Fat synthesis from glucose by sheep. Brit.Nutr. 19:31A.

FEDNA, 2008. Necesidades nutricionales para rumiantes de cebo. Normas FEDNA. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.

Ferket, P.E. van Heugten, T. A. T. G. van Kempen, and R. Angel. Nutritional Strategies to Reduce Environmental Emissions from Nonruminants. Journal of Animal Science 80 (E-suppl_2): E168–82.

de la Fuente, G., A.R. Seradj, J. Balcells, 2018. Un paso adelante en la alimentación de precisión- Suis, N° 146:20-27

Karr, M. R., C. O. Little, and G. E. Mitchell. 1966. “Starch Disappearance from Different Segments of the Digestive Tract of Steers.” Journal of Animal Science 25 (3): 652–54.

Lloveras, J., M.A. Cabasés, 2014. Evaluación de coste de producción de cultivos extensivos en secano y regadio [Original en catalán: Avaluació dels costos de producció

De cultius extensius en secà i regadiu] En Dossier Tècnic. Costos en Agricultura. DARP Generalitat de Catalunya. N° 69: 7-18. Disponible en:
<https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/160547/Dossier%20t%C3%A8cnic%2069:%20Costos%20en%20agricultura.pdf/aa6f1d53-98ae-4872-962b-860d377fa29e>

McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, 1995. Animal Nutrition. Longman, Essex (1995)

C. Fraser, and R. N. B. Kay. 1969. Dietary Factors Influencing the Digestion of Starch in the Rumen and Small and Large Intestine of Early Weaned Lambs. *British Journal of Nutrition* 23 (02): 217.

Owens, F. N., R. A. Zinn, and Y. Kim. 1986. "Limits to Starch Digestion in the Ruminant Small Intestine^{1,2}." *Journal of Animal Science* 63 (5): 1634–48.

Pastell, M., and L. Frondelius. 2018. A Hidden Markov Model to Estimate the Time Dairy Cows Spend in Feeder Based on Indoor Positioning Data. *Computers and Electronics in Agriculture* 152 (September): 182–85.

M. Shaughnessy, and R.A. Erdman. "The Decline in Digestive Efficiency of US Dairy Cows from 1970 to 2014." *Journal of Dairy Science* 100 (7): 5400–5410.
<https://doi.org/10.3168/JDS.2017-12641>.

Quiniou, N., M. Marcon and L. Brossard, 2018 Precision feeding with a decision support tool dealing with daily and individual pigs' body weight. Dubrovnik, Croatia, 27-31 August 2018. EAAP Book of Abstracts, Volume 24: 530
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74672-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74672-3)

M.K. van Ittersum, C. Leeuwis, and F.G. Wijnands. "Prototyping and Farm System Modelling—Partners on the Road towards More Sustainable Farm Systems?" *European Journal of Agronomy* 26 (4): 401–9.

Stygar A.H. y A.R. Kristensen, 2018. Monitoring growth of identified and unidentified pigs using data from an automatic weighing system. Dubrovnik, Croatia, 27-31 August 2018. EAAP Book of Abstracts, Volume 24: 530

Tyrrell, H.F., and P.W. Moe. "Net Energy Value of a Corn and a Barley Ration for Lactation." *Journal of Dairy Science* 57 (4): 451–58.
[https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(74\)84913-1](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(74)84913-1).

Weller, J I, and E Ezra. Genetic Analysis of the Growth Rate of Israeli Holstein Calves. *Animal* 2: 12.

8 CONCLUSIONES

1. Dentro del rango de energía de las raciones estudiadas (0.96 a 1.05 UFC/kg MF) no se encontraron diferencias relevantes en los parámetros de fermentación (producción de gas, degradabilidad *in vitro*, concentración de ácidos grasos volátiles y amoníaco). Tampoco se detectaron efectos del nivel de energía sobre la cinética de degradación *in situ*.
2. En el estudio de los rendimientos *in vivo* el nivel de energía afectó a la ganancia media diaria y conversión en la fase de crecimiento (180 a 400 kg PV), en cambio, no se observó efecto en la fase de cebo (400 a 520 kg PV).
3. El nivel de energía medio fue el que obtuvo mejores resultados productivos. Este efecto fue consistente tanto en la raza Holstein (1 UFC/kg MF), como en la raza Montbeliard (1.02 UFC/kg MF) aunque este efecto fue más evidente en la raza Holstein.
4. En general no se encontraron diferencias en el comportamiento alimentario de los animales alimentados con diferentes niveles de energía.
5. La presentación en expandido y granulado mejoró los parámetros de fermentación (producción de gas, degradabilidad *in vitro*) y la cinética de degradación *in situ*. En cambio, no hubo una modificación significativa en la concentración de ácidos grasos volátiles y amoníaco.
6. En el estudio de los rendimientos *in vivo* la forma de presentación no afectó a la ganancia media diaria y conversión en la fase de crecimiento; en cambio, la presentación expandido y granulado aumentó la ganancia media diaria y redujo la conversión en la fase de cebo.
7. El incremento de temperatura en el proceso de expandido del maíz mejoró la cinética de degradación *in situ*. En cuanto a los parámetros de fermentación *in vitro* no se detectó mejora por encima de los 110°C.

8. El expandido de maíz a 120°C redujo la concentración de amoníaco en rumen. Esto, junto con las dificultades asociadas al proceso tecnológico hacen inviable esta opción a nivel práctico.
9. El incremento de temperatura en el proceso de expandido de los piensos no afectó ni a los parámetros de fermentación *in vitro* ni a la cinética de degradación *in situ*.
10. El ensilado de grano húmedo (*pastone*) mejoró la degradabilidad *in vitro* y la disponibilidad de la energía comparado con el maíz grano. El ensilado de grano húmedo con zuro (*pastone* integral) presentó valores similares al maíz grano para la degradabilidad *in vitro*, aunque el aporte de energía fue inferior.
11. La degradabilidad efectiva *in situ* estimada para animales en crecimiento ($k=0.05$) fue superior para el *pastone*, intermedia para el maíz grano e inferior para el *pastone* integral.
12. No se observaron diferencias relevantes en el comportamiento alimentario entre razas. En cambio, se detectó una variabilidad individual muy importante en dichos parámetros.
13. Los parámetros productivos (ganancia media diaria y conversión) obtenidos por los terneros de raza Holstein y Montbeliard fueron muy superiores a los propuestos en las recomendaciones de racionamiento más utilizadas.
14. La pauta de crecimiento de los terneros de raza Holstein tuvo un punto de inflexión a los 170 días de edad. En cambio, los terneros de raza Montbeliard tuvieron su máxima ganancia media diaria a los 240 días de edad.
15. El índice de conversión en Montbeliard fue mejor que en Holstein en los dos períodos de engorde. En la fase de crecimiento los Montbeliard tuvieron un índice de conversión de 3.6 frente a 3.9 de los Holstein. En la fase de cebo la diferencia fue más importante (6.3 en Montbeliard frente a 7.7 en Holstein).