





Universitat Autònoma de Barcelona

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



Universitat Autònoma de Barcelona

**UTILIZACIÓN DE MEZCLAS “UNIFEED”
A BASE DE CONCENTRADO Y HENO DE ALFALFA EN
EL CEBO DE TERNERAS.**

Tesis Doctoral

**Ana Madruga Criado
Julio 2018**



Universitat Autònoma de Barcelona

**UTILIZACIÓN DE MEZCLAS “UNIFEED” A BASE DE CONCENTRADO Y HENO
DE ALFALFA EN EL CEBO DE TERNERAS.**

TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR: **ANA MADRUGA CRIADO**

BAJO LA DIRECCIÓN DE: **ALFRED FERRET QUESADA**

PARA ACCEDER AL GRADO DE DOCTOR EN EL PROGRAMA DE DOCTORADO DE
PRODUCCIÓN ANIMAL DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIA ANIMAL Y DE LOS ALIMENTOS

BELLATERRA, 2018



FACULTAT DE VETERINÀRIA

ALFRED FERRET QUESADA, Catedrático del departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona

Certifica:

Que la memoria titulada **“Utilización de mezclas “unifeed” a base de concentrado y heno de alfalfa en el cebo de terneras”**, presentada por Ana Madruga Criado con la finalidad de optar al grado de Doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona, ha sido realizado bajo la dirección del Doctor Alfred Ferret Quesada y considerándola acabada, autoriza la presentación para que sea juzgada por la comisión correspondiente.

Y para que consten los efectos que corresponde, firma la presente en Bellaterra, 26 de Julio del 2018.

Alfred Ferret Quesada

Director

“Para saber a dónde se va, nunca hay

que olvidar de dónde se viene”

Esta madrileña, que lleva más de 18 años viviendo en Barcelona, se ha criado en un pequeño pueblo de Salamanca, Villavieja de Yeltes. Un pueblo y una zona que los mires por donde lo mires solo encuentras campo y ganadería. Un pueblo donde todos los Madruga han reído, llorado, disfrutado, e incluso alguno se ha enamorado... en definitiva un pueblo donde todos hemos crecido. Pero además de todo eso, Villavieja de Yeltes es el pueblo donde nacieron mis abuelos, pero sobretodo donde trabajaron. Quizás soy la única de los 5 nietos que aún recuerda el cartel de "Carnicería Madruga" en la ventana de nuestra casa y quizás por eso desde que tengo 4 añitos sé que quería ser veterinaria, una veterinaria que pudiera ayudar a toda esa gente que como mis abuelos, se dedicaban a la ganadería. Yo nunca llegué a ver funcionar el matadero del patio de mi casa, ni siquiera esa carnicería, pero sin darme cuenta, hoy estoy presentando una tesis doctoral enfocada al engorde de terneros y trabajando para la Generalitat como veterinaria de sanidad en un matadero...

Y es que si que hay algo que entendí dentro de esa pequeña casa es que:

para saber a dónde se va nunca hay que olvidar de donde se viene.

Hace casi 6 años que terminé la carrera y empecé esta nueva etapa. Una etapa que mientras estudiaba jamás me había planteado, una etapa que se me ofreció nada más terminar y que hoy estoy muy orgullosa de haber empezado, porque es con ella donde realmente empecé a disfrutar la veterinaria que yo siempre había querido estudiar. Gràcies Alfred, gràcies per confiar en mi i donar-me l'oportunitat. Gràcies perquè tot i no tenir beca i haver de compaginar la feina amb la tesi mai hi ha hagut un però (i sé que hi ha hagut moments difícils...). Gràcies per la teva paciència, ensenyaments i per ajudar-me a tornar al punt que van començar els meus avis.

Gracias a todos los que habéis formado parte de esta aventura durante casi 6 años. Gracias Cinta y Emili, por esas noches de muestreo y esa habitación en Cerdanyola, pero sobre todo gracias por la amistad que hemos creado juntos.

Gracias Pepe y Eva, nadie como nosotros sabe todo lo que conlleva tener animales estabulados con tanto aparato tecnológico, sin vosotros los datos más importantes de este trabajo no hubieran salido adelante.

Gracias a todas mis amigas que han sufrido todos mis cambios de humor constantes y mis plantones en los últimos meses, lo recompensaré.

Gracias a esa familia postiza que tengo y que quiero como si fuera mía.

Y sobre todo gracias a mi familia, primos, tíos, abuela... Gracias papa, mamá y Raquel, por sufrirme en silencio, por no dejar que tirara nunca la toalla, porque la culpa de lo que soy hoy la tenéis vosotros. Nada de esto hubiera sido posible sin vuestra ayuda diaria. ¡Os quiero!

Gracias a ese 2 de Octubre de hace unos años ya... gracias por poner a mi otra mitad en el camino. Gracias por aguantar mi humor, mis horas encerrada en el despacho, mis enfados, mis nervios... Donde sea, pero contigo. ¡Te quiero Javi!

Y por último, gracias al que siempre ha sido mi ejemplo a seguir, gracias a esa persona que a pesar de tenerlo todo, sigue trabajando 10 y 12 horas diarias, porque adora su trabajo. Tú has sido quien se ha encargado de recordarme siempre de dónde venimos. Creo que la distancia ha hecho que nuestra relación sea imposible de romper. Sé que la abuela, está muy orgullosa sus tres hijos. Te lo dije un día y te lo repetiré siempre: tener un padre es un regalo pero yo tengo la suerte de tener 2. ¡Te quiero tío!

El incremento de precio de las materias primas de los piensos junto a la nueva Política Agrícola Común de la Unión Europea, obliga a los ganaderos, que utilizan raciones de alto contenido en concentrado en el cebo de terneras, a buscar alternativas que reduzcan los costes de producción. Para aportar información al respecto, se realizaron tres experimentos con el objetivo de proponer mezclas “unifeed” con heno de alfalfa como fuente de fibra forrajera que permita alcanzar una buena respuesta productiva y una mejora en el bienestar de los animales como alternativa al sistema tradicional de concentrado y paja en el cebo de terneras.

El objetivo del primer experimento fue comparar los efectos del uso de paja de cebada o heno de alfalfa en el consumo, la selección de partículas y comportamiento de alimentación en el crecimiento de terneras con raciones “unifeed” de alto contenido en concentrado. Bajo un diseño crossover, se utilizaron 8 terneras Simmental (148.1 ± 4.83 kg) que recibieron una ración *ad libitum* de concentrado y 8% de paja de cebada (BS) o concentrado y 8% de heno de alfalfa (AH). La ingesta de materia seca (IMS) fue superior en BS que en AH (6.7 vs 5.8 kg/d, $P < 0.05$) durante el periodo 1, mientras que durante el periodo 2 y una vez adaptadas al método de alimentación, no se obtuvieron diferencias para la IMS por tratamiento. Las terneras alimentadas con BS presentaron un comportamiento de selección en contra de partículas medianas y largas ($P < 0.01$) que afectó al comportamiento de alimentación, observando una tendencia ($P = 0.06$) a dedicar más tiempo en cada comida. El tiempo de rumia o el dedicado a comer no se vio afectado por el tipo de forraje. Con los datos observacionales de este experimento, independientemente del tratamiento al que estaban sometidos los animales, se hizo un estudio para averiguar cómo debían tratarse las imágenes registradas en los estudios de comportamiento, buscando cómo reducir el tiempo necesario a invertir para obtener resultados válidos. Un tiempo de muestreo de 5 minutos fue el que se encontró como idóneo para el estudio del tiempo de ingesta, mientras que para la rumia, el muestreo cada 20 minutos fue el que resultó ser más conveniente.

El segundo experimento se diseñó para estudiar el efecto del incremento de la proporción de heno de alfalfa en las mezclas “unifeed” en el consumo, selección de partículas, conducta de alimentación y tiempo de rumia en terneras de engorde.

Ocho terneras Simmental ($281,4 \pm 7.28$ kg) fueron asignadas aleatoriamente a cuatro tratamientos en un doble cuadrado latino. Las raciones ofrecidas *ad libitum* fueron, concentrado mezclado con 10% de paja de cebada (BS), 13% de heno de alfalfa (13AH), 16% de heno de alfalfa (16AH) o 19% de heno de alfalfa (19AH). La IMS fue superior en 16AH y 19AH que en BS. El consumo de FND y fibra físicamente efectiva (peFND) fue superior en los tratamientos con alfalfa (media 1,93 y 1,14 kg/d) que en las de BS (1,66 y 0,92 kg/d). Terneras alimentadas con 13, 16 y 19% de alfalfa mostraron comportamiento de selección en contra de partículas finas y a favor de partículas superiores a 1,18mm. El tiempo dedicado a cada comida fue superior en raciones de 16 y 19% de alfalfa (28,6 y 28,9 min/comida) que en BS (27,2 min/comida). El tiempo dedicado a comer no se vio afectado por tratamiento pero sí el tiempo de rumia, que fue superior en las mezcla 19AH que en la BS ($P < 0,02$).

El tercer experimento se diseñó para evaluar el efecto de incluir un 19% de heno de alfalfa comparado con un 10% de paja de cebada en raciones ofrecidas a terneras de engorde, en el consumo, ganancia media diaria (GMD) y calidad de canal y de carne. Veinticuatro terneras Simmental ($235,6 \pm 4.19$ kg) fueron distribuidas en grupos de tres y en dos tratamientos, en un diseño de bloques completamente al azar. Recibieron raciones *ad libitum* mezclas "unifeed" con un 10% de paja de cebada (BS) o un 19% de heno de alfalfa (AH). El consumo de materia fresca y GMD fue superior en AH que en BS (9,5 vs 8,4 kg/d y 1,45 vs 1,29 kg/d, respectivamente) ($P < 0,05$). Mientras que el grado de conformación no se vio afectado por el tratamiento, BS tendió a presentar una canal más grasa que AH ($P = 0,07$). El color, pH, textura y composición química de la carne no se vieron afectadas por el tratamiento, excepto en el contenido de la proteína, el cual fue superior en BS que en AH ($P = 0,01$). Sí hubo diferencias en la proporción de algunos ácidos grasos del músculo *Longissimus thoracis* (LM). BS fue superior en C18:1 trans-11 y C18:1 n-7 mientras que AH lo fue en C16:0. Cuando se expresó como g por cada 100g de músculo LM, el contenido de C14:0 fue superior en AH, mientras que el de C15:0, C18:1 trans-11 y la ratio PUFA:SFA lo fue en BS. Las características de la carne evaluadas por panelistas especializados no evidenciaron diferencias entre tratamientos.

L'increment de preu de les matèries primeres dels pinsos juntament amb la nova Política Agrícola Comú de la Unió Europea, obliga als ramaders que utilitzen racions d'alt contingut en concentrat en l'engreix de vedelles, a buscar noves alternatives que redueixin els costos de producció. Per aportar informació al respecte, es van realitzar tres experiments amb l'objectiu de proposar barreges "unifeed" amb fenc d'alfals com a font de fibra farratgera que permeti assolir bons resultats productius així com una millora en el benestar dels animals com a alternativa al sistema tradicional de concentrat i palla en l'engreix de vedells.

L'objectiu del primer experiment va ser comparar els efectes de l'ús de la palla d'ordi o el fenc d'alfals en el consum, la selecció de partícules i el comportament d'alimentació en el creixement de vedelles amb racions "unifeed" d'alt contingut en concentrat. Amb un disseny crossover, es van utilitzar 8 vedelles Simmental ($148,1 \pm 4,83$ kg) que van rebre una ració *ad libitum* de concentrat i 8% de palla d'ordi (BS) o concentrat i 8% de fenc d'alfals (AH). La ingesta de matèria seca (IMS) va ser superior en BS que en AH (6,7 vs 5,8 kg/d, $P < 0,05$) durant el primer període, tanmateix durant el segon període y un cop adaptades al mètode d'alimentació, no es van obtenir diferències per la IMS per tractament. Les vedelles alimentades amb BS van presentar un comportament de selecció en contra de partícules mitjanes i llargues ($P < 0,01$) que va afectar el comportament d'alimentació, observant una tendència ($P = 0,06$) a dedicar més temps en cada menjar. El temps de rumia o el temps dedicat a menjar no es va veure afectat pel tipus de farratge. Amb les dades observacionals d'aquest experiment, independentment del tractament al que estaven sotmesos els animals, es va fer un estudi per a valorar com tractar les imatges obtingudes en els estudis de comportament, cercant reduir el temps necessari a invertir per a obtenir resultats vàlids. Un temps de mostreig de 5 minuts es el que es va trobar coma idoni pel temps d'ingesta, mentre que per la rumia un mostreig de 20 minuts era adequat.

El segon experiment es va dissenyar per estudiar l'efecte d'incrementar la proporció de fenc d'alfals en les barreges "unifeed" en el consum, selecció de partícules, conducta d'alimentació i temps de rumia en l'engreix de vedelles. Vuit vedelles Simmental ($281,4 \pm 7.28$ kg) van ser assignades aleatòriament a quatre tractaments en un

doble quadrat llatí. Les racions *ad libitum* van ser, concentrat amb un 10% de palla d'ordi (BS), 13% de fenc d'alfals (13AH), 16% de fenc d'alfals (16AH) i 19% de fenc d'alfals (19AH). La IMS va ser superior en 16AH i 19AH que en BS. La ingesta de FND i fibra físicament efectiva (peFND) va ser superior en els tractaments amb alfals (mitjana 1,93 y 1,14 kg/d) que en les de BS (1,66 i 0,92 kg/d). Vedelles alimentades amb 13, 16 i 19% d'alfals van mostrar comportament de selecció en contra de partícules fines i a favor de partícules superiors a 1,18mm. El temps dedicat a cada menjar va ser superior en les racions de 16 i 19% d'alfals (28,6 y 28,9 min/menjar) que en les de BS (27,2 min/menjar). El temps dedicat a menjar no es va veure afectat pel tractament però sí pel temps de rumia, que va ser superior en les barreges de 19AH que en les de BS ($P < 0.02$).

El tercer experiment es va dissenyar per avaluar l'efecte d'inclusió d'un 19% de fenc d'alfals comparat amb un 10% de palla d'ordi en racions de vedelles d'engreix, en la ingesta, guany mig diari (GMD) i qualitat de canal i carn. Vint-i-quatre vedelles Simmental ($235,6 \pm 4,19$ kg) van ser distribuïdes en grups de tres i en dos tractaments, en un disseny de blocs a l'atzar. Van rebre *ad libitum* barreges "unifeed" amb un 10% de palla d'ordi (BS) o un 19% de fenc d'alfals (AH). La ingesta de matèria fresca i GMD va ser superior en AH que en BS (9,5 vs 8,4 kg/d i 1,45 vs 1,29 kg/d, respectivament) ($P < 0,05$). Mentre que el grau de conformació no es va veure afectat pel tractament, BS tendí a presentar una canal amb més greix que AH ($P = 0,07$). El color, pH, textura i composició química de la carn no es van veure afectats pel tractament, excepte el contingut de proteïna, el qual va ser superior en BS que en AH ($P = 0,01$). Si va haver-hi diferències en la proporció d'alguns àcids grassos del múscul *Longissimus thoracis* (LM). BS va ser superior en C18:1 trans-11 y C18:1 n-7 mentre que AH ho va ser en C16:0. Quan es va expressar com g per cada 100 g de múscul LM, el contingut de C14:0 va ser superior en AH, mentre que el de C15:0, C18:1 trans-11 i la ratio PUFA:SFA ho va ser en BS. Les característiques de la canal avaluades per panelistes especialitzats no van evidenciar diferències entre tractament.

The combination of an increase in the price of concentrate ingredients and the reform of the Common Agricultural Policy in the European Union obliges farmers who use high concentrate diets in the intensive beef production system to search for alternatives to reduce production costs. With this aim in mind, three experiments were carried out to test whether diets using total mixed rations with alfalfa hay as a fiber source, as an alternative to the traditional production system, would help achieve good animal performance and improve animal welfare.

The objective of the first experiment was to compare the effects of using either barley straw or alfalfa hay on intake, sorting and feeding behavior in growing heifers fed high-concentrate diets offered as total mixed ration (TMR). Eight Simmental heifers (148.1 ± 4.83 kg) fed *ad libitum* with concentrate and 8% of barley straw (BS), or concentrate and 8% of alfalfa hay (AH), were used in a crossover design. Dry matter intake (DMI) was greater ($P < 0.05$) in heifers fed BS (6.7 kg/d) than AH (5.8 kg/d) in period 1, but DMI did not differ between diets in period 2 when they were accustomed to the feeding method. Heifers fed BS sorted in both periods against long and medium particles ($P < 0.01$). This sorting behavior, preferentially shown in heifers fed BS, resulted in a tendency ($P = 0.06$) for greater length of each meal. Ruminating time and eating time were not affected by forage type. With the observational data from both diets, a study was conducted to assess how to analyze the video recordings for use here and in other behavioral studies, with the focus on obtaining valid results in a shorter time. A sampling time of 5 minutes was found to be adequate in the case of eating time, while 20 minutes was necessary in the case of ruminating.

A second experiment was designed to study the effects of increasing the proportion of alfalfa hay in the TMR on intake, sorting, feeding behavior and rumination time when offered to beef heifers at finishing. Eight Simmental heifers (281.4 ± 7.28 kg) were randomly assigned to one of four experimental treatments in a replicated Latin square design. Treatments tested were four TMR with: 1) 10% barley straw (10BS), 2) 13% alfalfa hay (13AH), 3) 16% alfalfa hay (16AH), and 4) 19% alfalfa hay (19AH). Intake of DM was higher in heifers fed 16AH and 19AH than in heifers fed 10BS ($P < 0.001$). Intake of NDF and physically effective NDF (peNDF) was greater in 13AH, 16AH, and 19AH (average

1.93 y 1.14 kg/d) than in 10BS (1.66 y 0.92 kg/d) ($P < 0.01$). Heifers fed 13AH, 16AH, and 19AH diets sorted against fine particle size and sorted for particle sizes greater than 1.18mm. Meal length was greater in heifers fed 16AH and 19AH (28.6 y 28.9 min/meal) than 10BS (27.2 min/meal). Time spent eating was not affected by diet but time spent ruminating was greater in heifers fed 19AH than in 10BS ($P < 0.02$).

The last experiment was designed to evaluate the effects of including 19 % of alfalfa hay compared to 10 % barley straw in the diet offered to beef heifers on intake, average daily gain (ADG) and carcass and meat quality. Twenty-four Simmental heifers (235.6 ± 4.19 kg) allotted in groups of 3 were used in a randomized block design with 2 treatments. Treatment diets offered as TMR were: a) TMR with 10% barley straw (BS), and b) TMR with 19% alfalfa hay (AH). Feed intake and ADG were greater ($P < 0.05$) for AH than BS (9.5 vs 8.4 kg/d, and 1.45 vs 1.29 kg/d, respectively). Whereas the conformation grade of carcasses was not different between diets, BS carcasses tended ($P = 0.07$) to be fatter than AH carcasses. Meat color, pH, texture and composition of the meat were not different between diets, although protein content was greater in the meat of heifers fed BS than AH ($P = 0.01$). The proportion of C16:0 was greater in AH, whereas the proportions of C18:1 *trans*-11 and C18:1 *n*-7 were greater in BS. When fatty acid content was expressed as g per 100 g of *Longissimus* muscle the content of C14:0 was greater in AH and the content of C15:0, C18:1 *trans*-11, and PUFA:SFA ratio was greater in BS. Meat characteristics evaluated by trained panelists did not differ between diets.

TÍTULO	I
DIRECTOR DE TESIS	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
RESUM	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE	VIII

Capítulo I: Intruducción

1. Actualidad y alternativas al sistema tradicional de alimentación en el cebo de terneros	2
2. Mezclas “unifeed”	4
2.1. Mezclas con fibra forrajera	7
2.2. Mezclas con fibra no forrajera	8
3. Factores de decisión al formular una mezcla “unifeed”	9
3.1 Tipo de forraje	9
3.2. Nivel de inclusión del forraje	15
3.3. Tamaño de partícula del forraje	16
4. Efectos que tiene sobre el animal la inclusión de forraje en las mezclas “unifeed”	17
4.1. Efecto sobre la ingestión de materia seca	18
4.2. Efectos sobre el ritmo de paso	18
4.3. Efecto sobre la ingestión de fibra y de fibra efectiva	19
4.4. Efecto sobre el pH ruminal	20
4.5. Efecto sobre el perfil de fermentación	21
4.6. Efecto sobre el comportamiento de alimentación	22
5. Justificación del proyecto de tesis	23

Capítulo II. Objetivos

Objetivos	37
-----------	----

Capítulo III. Artículos Publicados

ARTÍCULO I	41
ARTÍCULO II	43
ARTÍCULO III	45

Capítulo IV. Documentación Complementaria

Effect of including extra alfalfa hay in a high-concentrate diet fed to heifers at finishing on performance, and carcass and meat quality.	49
--	----

Capítulo V. Discusión General

1. Resultados productivos	81
2. Comportamiento	84
2.1 Actividades de comportamiento de los animales	84
2.2 Evolución del comportamiento a lo largo del día	85
2.3 Evolución del comportamiento con la edad	89
2.4 Comportamiento de selección	90
3. Fermentación ruminal	93
4. Aproximación económica	97

Capítulo VI. Conclusiones

Conclusiones	109
--------------	-----

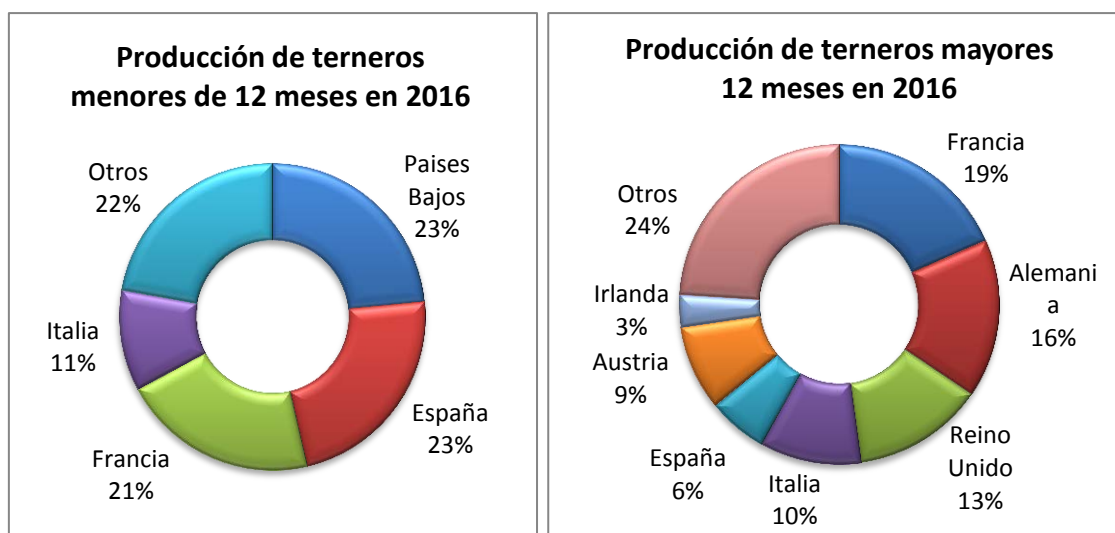
Capítulo I.

Introducción

1. Actualidad y alternativas al sistema tradicional de alimentación en el cebo de terneros.

El vacuno de carne es uno de los sectores clave en la producción cárnica en España. Representando 2.760 millones de €/año, es el tercer sector ganadero más importante en términos económicos. El sector de producción de carne de vacuno, representa el 6% de la producción final agraria de España y un 17% de la producción final ganadera (MAPAMA, 2016). Así mismo representa el quinto puesto a nivel europeo en importancia productiva, por detrás de países como, Francia, Reino Unido, Alemania e Italia (Figura 1)

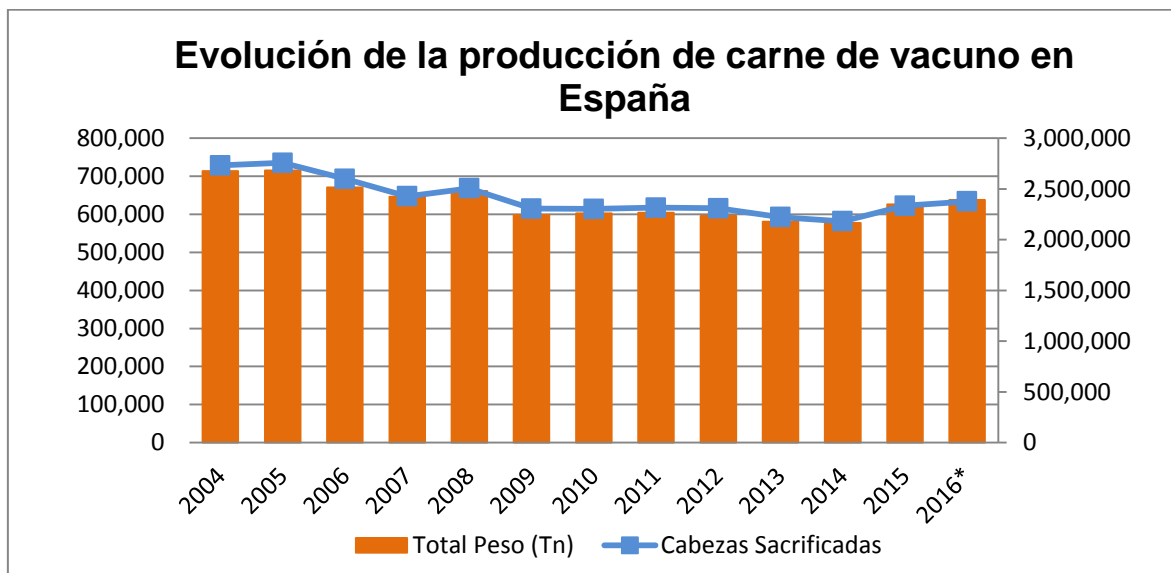
Figura 1. Producción de carne bovina en Europa en 2016 (Eurostat)



La figura 2, muestra la evolución productiva del sector de carne de vacuno en España de los últimos años. En ella se puede observar que tras la grave crisis del sector (año 2008), producida por la elevación del precio de las materias primas (cereales y suplementos proteicos) y de los piensos para terneros, la producción de carne de vacuno ha sido inferior a años anteriores aunque más o menos constante hasta el 2014. A partir de esta fecha se puede observar una recuperación del sector, debido principalmente al aumento de las exportaciones. En el 2016 del total de 638.000Tn de producción de carne, 170.000Tn de carne fresca, refrigerada o congelada, (26.6% de la producción) fueron exportadas. Lo que sitúa a España como el 6º mayor exportador de la UE y el 14º del mundo (Figura 3, MAPAMA, 2016).

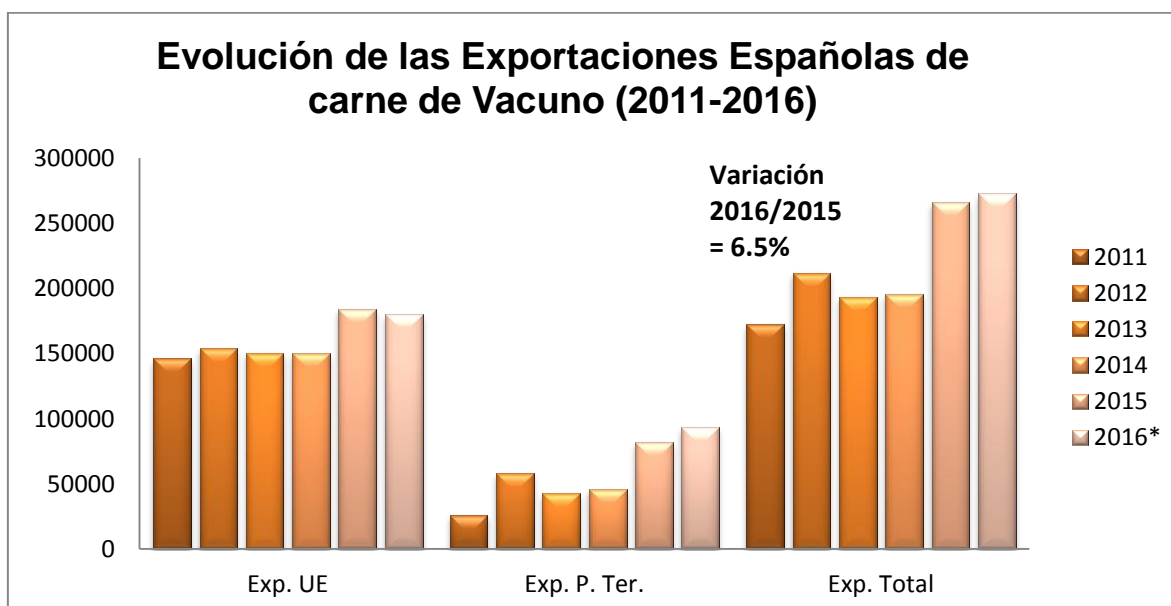
Los principales países exportadores a los que exportamos dentro de Europa son Portugal, Francia, Italia y Países Bajos y traspasando la frontera de la UE, Argelia, Hong-Kong y Marruecos de forma mayoritaria (MAPAMA, 2016).

Figura 2. Evolución de la producción de carne de vacuno en España (2004-2016)



* Datos provisionales

Figura 3. Evolución de las exportaciones españolas de carne de vacuno (2011-2016)



* Datos provisionales

Nuestro modelo productivo ha sido replanteado en varias ocasiones. Una de ellas se produjo antes de nuestra entrada en la Unión Europea, cuando se creía que el modelo no sería viable por la presumible elevación de los precios de los ingredientes del pienso, que luego no afectó como se esperaba. En aquel momento se hicieron planteamientos de realizar el cebo en base a mezclas más forrajeras usando, por ejemplo, ensilados de maíz (Ferret et al., 1982) o de sorgo (Ramón et al., 1986). Los resultados demostraron que con ensilado de maíz planta entera y concentrado (relación forraje:concentrado igual a 47:53) era posible obtener ganancias medias diarias similares (1,342 *versus* 1,372 kg/día) a las obtenidas con concentrado y paja de cereal (relación forraje:concentrado igual a 10:90), sin afectar la conformación o el nivel de engrasamiento de las canales y con un coste inferior (6% de reducción). Posteriormente, también se ensayaron mezclas basadas en el uso de henos como el de alfalfa en el cebo de pasteros (Albertí et al., 1995) permitiendo las mismas ganancias medias diarias de 1,3 kg, sin afectar la conformación aunque sí el grado de engrasamiento (Cerdeño et al., 2006) y el color de la grasa subcutánea. Sin embargo el sector siempre ha dudado, a pesar de los datos, de la viabilidad del cambio, por las posibles consecuencias que el cambio alimenticio podía causar sobre la calidad de la canal, en especial, por la alteración del color de la grasa. Por todo ello, se siguió con el modelo de pienso y paja de cereal.

2. Mezclas “unifeed”

En nuestro modelo de producción intensiva de terneros, con dietas con alto contenido en concentrado, el sistema de alimentación juega un papel muy importante en el sector.

Cuando los componentes de la dieta, concentrado y forraje, se presentan por separado, los animales son capaces de seleccionar las proporciones y porciones que les resultan más fáciles de ingerir, como los concentrados o forrajes de mayor calidad, rechazando parte de la dieta ofrecida. Dicha selección hace que el consumo de forraje quede por debajo del 10% de la materia seca ingerida (Devant et al., 2000; Robles et al., 2007; González et al., 2008a) aumentando el riesgo de padecer trastornos digestivos (Owens et al., 1998) que si bien no siempre son evidentes, como es el caso de la acidosis subclínica, si es cierto que reduce los rendimientos productivos que se espera de los animales (Stock and Britton,

1993). Al respecto, el NRC (2000) sugiere que con una dieta alta en concentrado, como ocurre en los cebaderos, el aporte de FND efectiva sea como mínimo del 20%, asegurando así un pH ruminal por encima del 6,2. Además, esta situación no goza de buena prensa entre la población consumidora que considera a esta producción como poco natural, afectando el bienestar de los animales y produciendo, una carne de peor calidad que la que se obtiene con animales en el pasto.

Todo ello, junto con las oscilaciones de los precios de las materias primas, la reforma de la PAC sufrida en 2013 y la mala percepción de los consumidores, hacen que en la actualidad, el sector se continúe planteando la necesidad de hacer cambios en el sistema de alimentación. Cambios que permitan hacerlo viable económicamente, así como para darle a la carne el valor añadido de ser un producto “saludable” más acorde a la condición de carne de un animal rumiante.

En este sentido, la utilización de mezclas “unifeed” permite presentar las diversas materias primas en una mezcla única, picada y mezclada, de manera que la selección de los componentes es mucho más difícil.

Atwood et al. (2001) trabajaron con mezclas “unifeed” en el engorde de terneros y observaron que los animales a los que se les ofrecía una mezcla “unifeed” tendían a comer más pero su ganancia de peso no era tan rápida como aquellos a los que se les ofrecía una mezcla por separado. Sin embargo, los terneros con mezclas “unifeed” comieron una proporción de proteína y energía constante a lo largo del experimento mientras que el resto tubo una ingestión mucho más fluctuante.

Iraira et al. (2012) estudiaron los efectos de ofrecer un 10% de paja de cebada como fuente de forraje de manera separada o en forma “unifeed” en el crecimiento de terneros Simmental de 115 kg a 185 kg. Los resultados obtenidos demostraron que los animales alimentados con mezclas “unifeed” tuvieron un mayor consumo de forraje, con un consumo de FND superior al 20%, pero con una disminución del consumo de concentrado y, por consiguiente, una tendencia a una ganancia diaria inferior.

A pesar de este último resultado, el uso de mezclas “unifeed” se considera una buena alternativa para incrementar el consumo de fibra efectiva y la actividad masticatoria, sin

reducir la ingesta de materia seca y la ganancia de peso y sin perjudicar los índices de conversión, en mezclas de alto concentrado (Iraira et al., 2012).

Las mezclas “unifeed” permiten contar con mayor longitud de comedero en el cebadero, pasando de dos tipos de comedero a uno de único, lo que disminuye la competencia entre animales en el momento de comer. Este hecho incrementa la frecuencia y distribución de comidas que hace el animal a lo largo del día (Greter et al., 2008), mejorando así la eficiencia de utilización de los alimentos y reduciendo la incidencia de problemas digestivos (González et al., 2012). Esto es debido a que la competencia por la comida incrementa la variación del tiempo dedicado a comer y la duración y tamaño de cada comida, sobre todo en los picos de mayor actividad (DeVries et al., 2009)

Además, las mezclas “unifeed” permiten la posibilidad de incorporar nuevas materias primas o subproductos con un coste competitivo, que no podían antes suministrarse de manera individual, ya sea por cuestiones tecnológicas (subproductos húmedos como las pulpas o voluminosos como la semilla de algodón), nutricionales o porque su textura o sabor por separado no resultan apetecibles para los terneros. Esta posible incorporación de nuevas materias primas, permite sustituir y/o reducir los concentrados de alto coste, lo que junto con la completa mecanización de la distribución del alimento, permite poder ajustarse mejor a la formulación realizada.

Sin embargo, los inconvenientes más relevantes de las mezclas “unifeed” son la inversión requerida para la mecanización del proceso y la complejidad de su implantación cuando se cuenta con instalaciones preexistentes que dificultan la aplicación de este sistema de distribución del alimento.

Por lo tanto, y si los inconvenientes lo permiten, las mezclas “unifeed” serían una alternativa al sistema clásico de alimentación de pienso y paja por separado, ya que permitirían la incorporación de nuevas fuentes de fibra, de mayor calidad que la paja, que favorecerían la ingestión de fibra efectiva y ayudarían a minimizar los problemas debido a las oscilaciones de precio de las materias primas.

En los últimos años, dentro de la línea de aumentar el consumo de forraje y disminuir los costes, se han probado diferentes alternativas con mezclas “unifeed” a la mezcla de

pienso y paja convencional. Algunas de estas alternativas pueden ser las mezclas con mayor contenido en forraje o la utilización de fuentes de fibra no forrajeras.

2.1. Mezclas con fibra forrajera

El cebo de terneras con una mezcla mixta a base de ensilado de maíz suplementado con concentrado para alcanzar la concentración de proteína recomendada, ha sido utilizado para substituir a las mezclas convencionales a base de pienso y paja. Albertí et al., 2010 y Casasús et al., 2012 compararon los efectos de sustituir la mezcla convencional de pienso y paja *ad libitum* por mezclas de ensilado de maíz suplementado con un núcleo proteico en forma “unifeed”, con una relación forraje:concentrado del 60:40. Los resultados obtenidos demostraron crecimientos, peso de canal y conformación similares, aunque con canales algo menos engrasadas y con una grasa más pigmentada en los animales cebados con “unifeed” a base de ensilado de maíz. Sin embargo, gracias a la incorporación de un mayor contenido en forraje en la mezcla, la carne de las terneras alimentadas con ensilado de maíz contenía una grasa de mejor calidad nutricional. Además, el coste económico por kg de ganancia fue un 11% inferior con mezclas “unifeed”. Esto indicaría la viabilidad técnica y económica de esta alternativa aunque en ciertos mercados se sigue cuestionando su uso por su posible efecto sobre el color de la grasa de la canal y la carne (Casasús et al., 2012).

Posado et al. (2013) estudiaron el efecto sobre el rendimiento productivo y el pH ruminal en terneras de raza Avileña-Negra Ibérica, alimentadas con dos sistemas de alimentación diferentes, unas con pienso y paja *ad libitum* y otras con una mezcla “unifeed” a base de ensilado de maíz. Los resultados obtenidos sobre el peso o edad al sacrificio, ganancia media diaria, o el peso canal y rendimiento fueron similares en ambas mezclas. Resultados que ya habían observado Albertí et al., 2010, Moya et al., 2011 o Casasús et al., 2012.

2.2. Mezclas con fibra no forrajera

Algunos subproductos generados de la producción agrícola, agroindustria o subproductos resultantes de la producción de los biocombustibles han sido utilizados como opción para la inclusión de fibra de alta calidad a las mezclas de engorde (Bradford y Mullins, 2012). La cascarilla de soja, la pulpa de remolacha, la semilla de algodón, el salvado y las tercerillas de trigo o los granos y solubles derivados de la destilería o generación de biocombustibles son algunos de estos subproductos, denominados como fuentes de fibra no forrajera.

En términos generales estas fuentes presentan una elevada concentración energética, una fibra de elevada digestibilidad, con una concentración de FND dentro del rango de muchos forrajes (40 a 60%) y un tamaño de partícula variable pero generalmente menor que la del forraje. Este último punto, podría actuar como aspecto negativo, ya que supondría disponer de una fibra menos efectiva para la masticación. Además algunos presentan una baja estabilidad, sobretodo en climas húmedos, lo que hace restrictivo su uso o aumentaría los costes si hubiera que someterlos a un proceso de secado (Anderson et al., 2006).

Iraira et al. (2013), compararon los resultados obtenidos en terneras Simmetal en la fase final de engorde alimentadas con pienso y paja *ad libitum* suministrados por separado, una mezcla “unifeed” 92:8 con concentrado y paja, y una mezcla “unifeed” con un 16% de semilla de algodón como fuente de fibra (84:16). Los resultados obtenidos demostraron que no había diferencias en el consumo de materia seca diaria, ganancia media diaria, índices de conversión y características de canal y calidad de la carne, aunque se podía observar algún cambio en el perfil de ácidos grasos del músculo *Longissimus thoracis*. Los animales alimentados con semilla de algodón, tuvieron un contenido medio menor de ácido oleico (C18:1 n-9) y mayor de linoleico (C18:2 n-6) y ratio n-6:n-3. Sin embargo se encontraron diferencias en el tiempo de rumia, donde la semilla de algodón estaba por encima de la dieta convencional pero inferior a la mezcla “unifeed” a base de pienso y paja. Esto se debió a que los animales alimentados con semilla de algodón presentaron un comportamiento de selección en contra de partículas mayores de 1,18 mm mientras que los alimentados con mezclas “unifeed” pienso y paja no lo presentaron, de manera que el

consumo de FND de las mezclas “unifeed” con pienso y paja fue superior al de las mezclas con semilla de algodón.

3. Factores de decisión al formular una mezcla “unifeed”

Galyean y Defoor (2003) indicaron que la funcionalidad normal del rumen, depende de la calidad (forma física) y la cantidad (concentración) de la fibra de la mezcla. Sin embargo, mezclas con el mismo aporte de FND procedente del forraje, tienen respuestas diversas en el crecimiento de terneros.

Shain et al. (1999), observaron que terneras alimentadas con distinta fuente forrajera, alfalfa o paja, pero con el mismo nivel de NDF en la mezcla tuvieron el mismo consumo de materia seca pero una ganancia media diaria superior en las terneras alimentadas con alfalfa. Sin embargo el consumo de concentrado fue superior en las terneras alimentadas con paja.

Algunos de los factores que afectan al consumo de forraje y, por consiguiente, al rendimiento del animal y que hay que tener en cuenta a la hora de formular una mezcla “unifeed” son presentados a continuación.

3.1 Tipo de forraje

En las mezclas “unifeed”, como hemos visto anteriormente, una de las causas por las que aumenta el consumo de forraje y por consiguiente el consumo de FND procedente del forraje, es debido a que se disminuye en general la capacidad de selección de los ingredientes. De manera que con un forraje de mala calidad, podemos aumentar la ingestión de FND procedente del forraje, incrementando así el consumo de materia seca, pero causando una posible disminución del consumo de concentrado y como consecuencia un posible retraso en el crecimiento y engorde de los terneros. Por ello, es muy importante el tipo de forraje utilizado en las mezclas “unifeed”, ya que lo que nos interesa es incrementar el consumo de forraje y, por lo tanto, disminuir el riesgo de

trastornos digestivos sin alterar la ganancia media diaria y que esto nos afecte a los costes de producción.

Esto ha llevado a que algunos trabajos sugieran que el intercambio de forraje en las mezclas se debe hacer en función de la FND aportada por cada forraje y no en base a la materia seca (Galylean y Defoor, 2003; Salinas-Chavira et al., 2013; Swanson et al., 2017). Ello es debido a que los distintos tipos de fuentes de fibra forrajera, además de tener características físicas diferentes, se diferencian en la concentración de nutrientes (NRC, 1996), los cuales cada uno los tendrá en distintas proporciones.

A continuación se presentan, de forma reducida, algunas de las diferentes fuentes de fibra disponibles en España y que podrían ser utilizadas en mezclas “unifeed” en cebaderos de terneros (Tabla 1).

Paja de cereales

La paja de cereales, principalmente de trigo, cebada, avena, centeno y triticale es un subproducto fibroso altamente disponible. Las más abundantes en España son la paja de trigo y la de cebada por la amplia extensión de su área de cultivo (FEDNA, 2010).

Ambas tienen una composición similar, siendo el valor energético algo superior en la paja de cebada. La paja de avena y cebada es más palatable que la de trigo. La mayor parte de los componentes de las pajas de cereales, están asociados a la pared celular, que junto con su bajo contenido en nitrógeno hace que sean casi indigestibles (Feedipedia, 2012). Contienen un alto contenido en FND (72%), cuya composición en celulosa y hemicelulosa (50% del total de FND) corresponde a la fracción que es fermentable por la población microbiana ruminal, con una velocidad de degradación en el rumen muy lenta, lo que disminuye su capacidad de ingestión. Esto hace que sea una fuente de fibra larga muy utilizada en el cebo de terneros (FEDNA, 2010). Sin embargo, la palatabilidad de la paja de cebada o trigo puede verse disminuida por la presencia de aristas (Feedipedia, 2012).

Iraira et al. (2012) estudiaron el consumo y conducta de alimentación de terneras Simmental en crecimiento con dos sistemas de alimentación distintos a base de pienso y paja de cebada. En uno, por separado y *ad libitum*, y en el otro se ofrecía en forma de

mezcla “unifeed”. La relación concentrado:forraje para los dos sistemas fue 90:10. Los resultados demostraron que las terneras alimentadas con mezcla “unifeed” consumieron una cantidad mayor de forraje que las alimentadas con pienso y paja por separado (0,3 v 0,2 kg/d, respectivamente). Esto conllevó una disminución del consumo de concentrado y del total de consumo medio diario. Como consecuencia la ganancia media diaria tendió a ser inferior. Sin embargo, el mayor consumo de forraje provocó un incremento en el tiempo de rumia en los animales alimentados con mezcla “unifeed”.

Heno de Alfalfa

La alfalfa (*Medicago sativa*) es una planta perteneciente a la familia de las Leguminosas (Fabaceae) y una de las leguminosas forrajeras más importantes a nivel mundial (Feedipedia, 2012). Es un cultivo forrajero plurianual que tiene excelente potencial productivo, cuya duración en el campo es de unos 3-4 años, pudiéndose practicar varios cortes por año. En España, donde ocupa el 22% de la superficie destinada a los forrajes, el 85% de la superficie de alfalfa se encuentra entre Castilla-León, Aragón y Cataluña. Actualmente el 65% de la producción se deshidrata, el 28% se henifica, el 4% se consume en verde y el 3% restante se ensila (MAPAMA, 2017).

El heno de alfalfa es un producto cuyo valor nutritivo puede distar del de la planta original, debido a la lluvia durante el proceso de henificación y a la pérdida de hojas (FEDNA, 2016). Sin embargo, la alfalfa contiene un valor excepcional de proteína (entre un 13 y 19%) (FEDNA, 2016) y un perfil de aminoácidos bien equilibrado para los rumiantes, que hace que se compare favorablemente con el de la soja (Mauries, 2003). Además, el alto contenido en materia seca, proteína y calcio de la alfalfa lo convierten en un forraje adecuado para toda clase de rumiantes (Feedipedia, 2012). Es un forraje con un mayor contenido en minerales y vitaminas (beta-carotenos) que otros forrajes (Frame, 2005).

Por lo tanto, los rumiantes se benefician de dos características principales de la alfalfa. En primer lugar, su alto contenido en proteínas de fácil digestión (digestibilidad de la proteína varía del 73% al 81%) superando a la de otros forrajes. Y en segundo lugar, además de tener un alto contenido en FND (alrededor del 50%), esta fibra es muy

valiosa, ya que se digiere rápidamente por la microbiota del rumen, posibilitando el incremento del consumo de materia seca y ayudando a prevenir trastornos digestivos. Ello es debido al efecto tampón que facilita la salivación resultante de la correspondiente estimulación de la rumia (Robinson, 1998).

Albertí et al. (1995) estudiaron la posibilidad de cebar los terneros con heno de alfalfa suplementado con pienso, en vez de pienso *ad libitum* o silo de maíz. Los resultados demostraron una conformación, color del músculo y características instrumentales (dureza y retención de agua) similares, con una terneza y jugosidad ligeramente inferiores en las mezclas con heno de alfalfa.

Cerdeño et al. (2006) estudiaron el crecimiento, características de canal y calidad de carne con diferentes estrategias de alimentación en la fase final de engorde de terneros. En las diferentes estrategias utilizadas se comparó el uso de concentrado *ad libitum* o restringido y diferentes forrajes. Los tratamientos fueron: a) concentrado y paja de cebada *ad libitum*, b) concentrado restringido (4 kg/animal y día) y heno de alfalfa *ad libitum* los 30 primeros días y concentrado y paja de cebada *ad libitum* hasta el final del engorde y c) concentrado restringido (4 kg/animal y día) y heno de alfalfa *ad libitum*. Los resultados demostraron valores similares y aceptables para la calidad de carne aunque con ganancias medias diarias y grado de engrasamiento superior en los animales sin restricción del concentrado.

También se ha valorado la posibilidad de utilizar heno de alfalfa suplementado con pienso en el engorde de terneros ecológicos, con resultados de crecimiento mayores pero con un coste económico superior (Villalba et al., 2010)

Ensilado de Maíz

El maíz (*Zea mays*) es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas (Poaceae), catalogada dentro del grupo de los cereales. Ocupa en España el 10% de la superficie total destinada a los cultivos forrajeros. El ensilaje es, en la actualidad, la forma mayoritaria de aprovechar el maíz forrajero, ensilándose el 89% del total producido (MAPAMA, 2017).

Desde el punto de vista nutritivo el ensilado de maíz es un alimento de un elevado valor energético (2,2-2,5 Mcal de EM/kg de MS), bajo valor proteico (7-8% de MS) y un contenido del 40-45% de FND (FEDNA, 2016). El uso del ensilado de maíz en el cebo de terneros no es nuevo, ya que es un forraje muy utilizado en las zonas húmedas o de regadío (Albertí et al., 1995), aunque su mayor uso se encuentra en mezclas a base de ensilado de maíz suplementadas con un componente proteico.

Zea (2010) estudiaron los rendimientos productivos de terneros de tres razas diferentes (Rubia Gallega, Rubia x Holstein y Holstein-Friesian) alimentados con ensilado de maíz y complementados con pienso (1-1,5 kg/día) y obtuvieron ganancias de peso medias de 1,1 kg/día.

Eguinoa y Juguet (2004), observaron los parámetros productivos y de calidad de la canal y de la carne en el cebo de terneros ecológicos Pirenaicos con ensilado de maíz o paja y concentrado ecológico, con una relación forraje:concentrado 60:40. Los resultados evidenciaron que el cebo de terneros a base de ensilado de maíz permitió crecimientos mayores a los observados en el cebo a base de paja, produciendo canales de mayor peso, con una conformación y engrasamiento superior. Sin embargo, el color de la grasa resultó algo más pigmentada (blanco cremoso) en comparación con el color de la grasa de los terneros alimentados con paja (blanco).

Ensilado de Raygrass

El raygrass es el nombre genérico de un grupo de plantas perteneciente a la familia de las Gramíneas (Poaceae) y al género *Lolium*. Se cultiva mayoritariamente en secano (62% de la superficie). La producción anual de raygrass se usa básicamente en forma de ensilado (53%; MAPAMA, 2017). Sin embargo, el elevado contenido en agua hace que sea necesario practicar un prehenificado previo al ensilaje, para evitar pérdidas de materia seca durante el proceso fermentativo (FEDNA, 2016).

Desde el punto de vista nutritivo el ensilado de raygrass es un alimento de un elevado valor energético (2 - 2,6 Mcal de EM/Kg de MS), valor proteico medio (10- 11% de MS) y

un contenido fluctuante del 40 al 60% de FND dependiendo de la variedad y del momento de la cosecha (FEDNA, 2016).

Riba et al., (1987), evaluaron la utilización de raygrass como fuente de forraje con distintos aportes de concentrado en el engorde de terneros. El peso vivo final, las ganancias medias diarias y los índices de conversión, fueron superiores a medida que se aumentaba el nivel de concentrado en la mezcla sin afectar a la ingestión de MS. Además se comprobó el efecto de la adición o no de conservantes al ensilado, sin evidenciar diferencias significativas en la ingesta de materia seca.

Ensilado de hierba

La hierba es un término genérico que agrupa a plantas básicamente procedentes de las familias de gramíneas y leguminosas.

En España hay unas 278.000 hectáreas ocupadas por praderas, que representan un 24% del total de la superficie forrajera, por lo que son el primer recurso forrajero. El 75% de la superficie de este cultivo se encuentra en Galicia. La forma de aprovechamiento mayoritario es en verde (48%), seguido del ensilado (28%) y del heno (24%). El ensilaje de hierba es un método de conservación cada día más frecuente en España. El ensilaje directo de una hierba de prado, con bajo contenido en materia seca, requiere el uso de algún aditivo que ayude a mejorar el proceso. Las pérdidas de materia seca pueden reducirse con la realización del prehenificado.

Zea et al. (2008 y 2010) compararon los resultados productivos y de calidad de canal y carne de terneros de engorde alimentados a base de ensilados de maíz o pradera, o con pienso *ad libitum*. Únicamente se encontraron diferencias significativas en la cantidad de grasa de la canal, y en la cantidad de ácidos grasos saturados. Ambos fueron superiores en los animales alimentados con pienso *ad libitum*.

Del mismo modo, Zea y Díaz (2011), encontraron ganancias medias diarias superiores en el consumo de ensilado de maíz cuando lo compararon con el consumo de ensilado de pradera en terneros de engorde.

La mayoría de las diferentes fuentes de fibra podrían presentarse en forma deshidratada, pero esto supondría un coste adicional y, por ello, no se han tenido en consideración en esta tesis.

Tabla 1.- Características nutricionales de algunas fuentes de fibra forrajera (FEDNA, 2010)

Fibra Forrajera	MS (%)	Cenizas (%MS)	PB (%MS)	EE (%MS)	FND (%MS)	FAD (%MS)	LAD (%MS)	UFC UF/kg MS	EM Mcal/kg MS
Ensilado de maíz	27.5	5.3	7.8	4.3	49.9	30.9	3.5	0.9	2.5
Ensilado de ray-grass	35.4	11.4	13.9	3.6	52.82	32.0	3.8	0.8	2.3
Heno de Alfalfa	90.2	10.2	15.9	1.9	49.4	35.9	8.0	0.7	2.1
Paja de cereales	91.7	7.2	3.70	1.6	72	46.4	8.4	0.4	1.2
Ensilado de hierba (segunda)	27.8	10.5	14.4	2.7	51.8	34.0	5.9	0.8	2.2

3.2. Nivel de inclusión del forraje

Allen (2000) sugiere que los componentes de la mezcla que aumentan el tiempo de comer (feeding time), como los forrajes, podrían disminuir el tiempo disponible para rumiar y, por lo tanto, aumentar el efecto llenado de la mezcla.

Bartle et al. (1994) observaron que animales alimentados con un 10 o 20% de alfalfa como fuente de forraje, tuvieron igual ganancia media diaria (GMD), mientras que cuando se incrementó el nivel de alfalfa al 30% esta GMD disminuyó. Greater et al. (2008) observaron una disminución en el consumo de materia seca y un aumento del tiempo dedicado a comer de las terneras a medida que aumentaba la concentración de paja en la mezcla. Del mismo modo Hales et al. (2013) y Swanson et al. (2017) observaron que el consumo de materia seca disminuía a medida que incrementaba el forraje en la mezcla. Swanson et al. (2017) observaron esta disminución especialmente en niveles de

inclusión de forraje superiores al 20%, mientras que Hales et al. (2013) observaron un efecto cuadrático en el consumo de materia seca con mezclas que contenían el 2, 6, 10 y 14% de heno de alfalfa, donde se incrementó hasta un 10% de inclusión de alfalfa y disminuyó con el 14% de inclusión.

Cuando las mezclas “unifeed” altas en concentrado se diluyen con el forraje, el animal generalmente aumenta su consumo de materia seca para mantener la ingesta de energía. Sin embargo, esta compensación a través del incremento de ingestión es posible hasta que el nivel de ingestión de la fibra es lo suficientemente elevada como para imponer restricciones en el llenado gástrico. (Galyean y Defoor, 2003). Por ello, el nivel de inclusión en la mezcla puede llegar a tener un efecto negativo en el consumo de materia seca.

3.3. Tamaño de partícula del forraje

Para entender el efecto que tiene el tamaño de partícula sobre el metabolismo ruminal es importante entender que el rumen se divide en tres partes: zona dorsal, reticulorumen o zona ventral y zona de líquido ruminal (Tafaj et al., 2004). En las mezclas “unifeed” las partículas se dividen en 4 grupos: partículas > 19mm, partículas de entre 8 y 19 mm, partículas de entre 8 y 1,18 mm y partículas < 1,18 mm. Todas ellas contienen porciones solubles e insolubles y parcialmente degradables o indegradables pero la fracción de partículas < 1,18 mm es la que contiene mayor número de sustancias solubles y fácilmente degradables que irán mayoritariamente a la zona de líquido ruminal en el rumen. Por ello, la reducción de partículas del reticulorumen afecta a la actividad masticatoria o rumia, la degradabilidad del alimento y la actividad microbiana.

Stone (2004) reportó que el consumo de partículas largas o medias da como resultado un mayor pH ruminal y tiempo de rumia que el consumo de partículas finas. El aumento de longitud de partículas promueve la actividad de masticación y, por lo tanto, aumenta la capacidad tamponadora dentro del rumen debido al incremento de producción de saliva.

Kononof et al. (2003) y Khan et al. (2014) observaron en mezclas altas en forraje que la ingestión de materia seca tiende a incrementarse a medida que disminuye el tamaño de partícula.

En mezclas altas en concentrado, a pesar de que muchos autores (Allen, 2000; Yang y Beauchemin, 2006) creen que el tamaño de partícula tiene poco efecto sobre la ingestión de materia seca, Zebeli et al. (2012), demostraron que mientras que estar por debajo de un 14,9% de ingestión de FND físicamente efectiva con tamaño de partícula > 8 mm, aumenta el riesgo de sufrir acidosis subclínica, subir este nivel de tamaño de partícula puede causar una disminución en el consumo de materia seca. Esta disminución del consumo de materia seca puede estar asociada a que el aumento del tamaño de partícula disminuye el ritmo de paso y puede disminuir la degradación de la fibra en el rumen, debido a una menor disponibilidad del área de ataque de los microorganismos (Tafaj et al. 2007).

Parece claro entonces que aumentando el tamaño de partícula procedente del forraje se incrementará el consumo de peNDF con efectos positivos en la rumia y actividad masticatoria, reduciendo así el riesgo de sufrir trastornos digestivos. Sin embargo, hay muchos otros factores a tener en cuenta como es la conducta de selección de los animales (sorting behavior).

4. Efectos que tiene sobre el animal la inclusión de forraje en las mezclas “unifeed”

El forraje en las mezclas altas en concentrado ayuda a mantener la funcionalidad ruminal, reduciendo la acidosis, mejorando el consumo de materia seca (Defoor et al., 2002), estimulando la masticación y la rumia e incrementando el ritmo de paso del grano (Galyean and Hubbert., 2014).

4.1. Efecto sobre la ingestión de materia seca

En mezclas con alto contenido en forraje, los factores fisiológicos como el llenado gastrointestinal pueden limitar el consumo de alimento, incluso llegando a reducirlo (Mertens, 1994). Sin embargo, en mezclas con más de un 50% de concentrado, el llenado gástrico es poco probable (Zebeti et al., 2012) y lo que se observa es un incremento del consumo de alimento al incrementar el nivel de forraje de la mezcla, ya que el concentrado se diluye con el forraje y el animal generalmente aumenta su consumo para mantener la ingesta de energía.

Galyean and Defoor 2003, evaluaron los datos de diversos trabajos, con un total de 48 tratamientos, con distintos tipos y nivel de forraje. Demostraron que los porcentajes de FND y de FND físicamente efectiva aportados por el forraje eran responsables del 92,0 y 93,1%, respectivamente, de la variación de consumo de materia seca.

4.2. Efectos sobre el ritmo de paso

La velocidad a la que un alimento deja el retículo-rumen para pasar al tracto gastrointestinal, recibe el nombre de ritmo de paso (Kotb y Luckey, 1972).

Se han observado ritmos de paso mayores en forrajes que en partículas de concentrado (Colucci et al., 1982 y 1990) ya que los forrajes presentan un tamaño de partícula más grande y una menor densidad específica (Huhtanen et al., 2006). Por lo tanto el tamaño de partícula y la gravedad específica de las partículas afectan el tiempo de permanencia en el rumen. La mayoría de las partículas que salen del rumen son más pequeñas de 1 mm, aunque pueden pasar partículas de 5 cm a través del orificio retículo-omasal (Welch, 1986).

El ritmo de paso de la digesta afecta, por ejemplo, a la degradabilidad de la mezcla y la eficiencia microbiana (Robinson et al., 1987). Estos autores observaron que el ritmo de paso de la digesta en los rumiantes altera la degradación de los alimentos, existiendo relaciones opuestas entre el ritmo de paso y la digestibilidad. Los cambios en el ritmo de paso de los componentes dietéticos del rumen podrían estar relacionados con los

cambios en el consumo de materia seca que resultan de las diferencias en la fuente y el nivel de forraje. Si la FND procedente de la fibra aumenta el ritmo de paso de la porción de grano de la mezcla, menos fermentación se producirá en el rumen, lo que resultará en una menor carga de ácido y potencialmente mayor consumo de materia seca. (Galyean y Defoor, 2003). Cole et al., (1976) encontraron una disminución de la digestibilidad de la MS en terneros alimentados con un nivel de forraje del 0 al 14% de la mezcla. Sin embargo, cuando el nivel de forraje aumentó del 14 al 21%, la digestibilidad de MS también aumentó. Estas diferencias fueron atribuidas a un incremento del ritmo de paso hasta un nivel del forraje del 14%.

Este aumento de fibra y mayor velocidad del ritmo de paso del grano de la mezcla, aumentan la probabilidad de cambiar el lugar de digestión de los alimentos, causando una digestión del almidón en los intestinos en vez del rumen (Galyean y Hubbert, 2014). Yang et al. (2002) observaron que la digestión del almidón cambió del rumen al intestino, en vacas alimentadas con alfalfa en vez de hierba como fuente de forraje.

4.3. Efecto sobre la ingestión de fibra y de fibra efectiva

Se considera fibra (FND) físicamente efectiva (peFND) aquella porción que es capaz de incentivar o estimular la masticación, la rumia y la producción de saliva (Grant, 1997). El NRC (2000) indica que en mezclas altas en concentrados el nivel óptimo de peNDF debería ser como mínimo 20% de la materia seca ingerida para asegurar un pH ruminal por encima de 6.2.

El concepto de peNDF incluye tanto características nutricionales (NDF) como estructurales (tamaño de partícula). El valor de peNDF de un alimento es el producto de su contenido en NDF y su factor físico efectivo (pef). Un alimento se considera con un valor $pef=0$, cuando su NDF no es físicamente efectiva, como en el caso de los concentrados, y un valor $pef=1$ cuando el NDF es totalmente efectivo, como el heno de gran tamaño de partícula, ya que promueve la estratificación digestiva en el rumen, la actividad masticatoria y el efecto tampón.

En este sentido Mertens (1997) propone que la fibra que realmente incentiva la actividad masticatoria es aquella que tiene un tamaño de partícula mayor a 1,18mm ($peFND > 1,18$), para lo cual se debe multiplicar la proporción de partículas retenidas en el tamiz de 1,18mm (Separador de Partículas de la Universidad de Pensilvania) por la concentración de FND de la mezcla. Otros autores como Yang y Beauchemin (2007), consideran que la proporción de partículas retenidas en el tamiz de 8 mm multiplicado por el contenido de FND de la mezcla es mejor predictor del pH ruminal que el $peFND > 1,18$.

Por esto, el nutriente más importante de los forrajes es la FND, ya que ayuda a mantener la funcionalidad ruminal y afecta al consumo de materia seca en el engorde de terneros, afectando así el rendimiento, la eficiencia y las características de la canal (Galyean and Hubbert., 2014). Por lo tanto la fibra físicamente efectiva es un buen indicador del potencial de rumia de la mezcla (Yang et al., 2006).

4.4. Efecto sobre el pH ruminal

Los forrajes aumentan el tiempo dedicado a comer y por consiguiente se incrementa la producción de saliva (Beauchemin et al., 2008) aportando beneficios a la fermentación ruminal.

El pH ruminal es el reflejo del equilibrio entre la fermentación ruminal y la producción de saliva (con función tamponadora en el rumen) (Allen, 1997). La ingestión de $peNDF$ está altamente relacionada con el tiempo total de masticación y rumia y, por lo tanto, con el flujo de saliva hacia el rumen (Armentano y Pereira., 1997; Allen., 1997), la cual representa entre el 30-40% del poder tamponador del rumen (Allen, 1997). Por lo tanto, parece evidente que aumentar la ingesta de NDF forrajera por unidad de carbohidratos fermentables, aumentará el pH ruminal o por lo menos reducirá el tiempo en que el pH se mantenga bajo.

Sin embargo en los últimos años se han llevado a cabo varios estudios para determinar los efectos de la $peFND$ dietética sobre el consumo de alimento, el tiempo de masticación y el pH ruminal (Yang et al., 2001; Beauchemin et al., 2003; Plaizier, 2004), y los resultados obtenidos en estos estudios no son concluyentes. En algunos estudios, aumentar la

ingesta de peNDF aumentó la actividad de masticación, el tiempo dedicado a comer y rumiar pero no hubo efecto sobre el pH del rumen para el ensilaje de maíz (Kononoff et al., 2003; Beauchemin et al., 2005) o para las mezclas basadas en el alfalfa en vacas lecheras (Kononoff et al., 2003). Otros, como Salinas-Chavira et al. (2013) estudiaron la influencia del nivel de NDF procedente del forraje en el crecimiento y características digestivas de novillos Holstein de engorde, y observaron que incrementar el nivel de pasto del Sudán en las mezclas de los novillos incrementaba el pH ruminal.

4.5. Efecto sobre el perfil de fermentación

En el rumen, los ácidos grasos volátiles (AGV) son producto de la fermentación de materia orgánica. Los predominantes son el acético, propiónico y butírico y su concentración y proporción está relacionada con la composición de la mezcla (Bergman, 1990).

Un incremento en la proporción de propionato en el rumen puede disminuir el consumo en los rumiantes (Allen et al., 2005). Armentano y Pereira (1997) observaron que incrementar la FND procedente del forraje está positivamente correlacionado con el ratio acetato:propionato en el rumen. Por lo que incrementar FND procedente del forraje podría reflejar una disminución de la producción y absorción de propionato (Galyean y Hubbert, 2014).

Shain et al. (1999) observaron que a pesar de tener el mismo consumo de materia seca, terneras alimentadas con un tamaño de partícula mayor, tuvieron un aumento en el pH ruminal, una menor cantidad de AGV, mayor proporción de acetato, igual proporción de propionato, aumento del ratio acetato:propionato y un mayor tiempo de rumia comparado con las terneras alimentadas con un tamaño de partícula menor.

4.6. Efecto sobre el comportamiento de alimentación

Un mayor nivel de inclusión de forraje puede afectar al comportamiento de alimentación. Faleiro et al. (2010), observaron un incremento en el tiempo de rumia de terneras Holstein que recibieron paja de cebada *ad libitum* como fuente de forraje respecto a las que no la recibieron. Esto conllevó una reducción de la producción de saliva y, por consiguiente, un valor de pH ruminal inferior en las terneras que no disponían de paja de cebada.

Incrementos en el tiempo dedicado a comer en respuesta a mayor tamaño de partícula, ha sido observado en algunos estudios (Maulfair et al., 2011; Khan et al., 2014) pero no en otros (Kononoff et al., 2003, Yang y Beauchemin., 2006). Estas diferencias de resultados podrían explicarse por diversos factores, uno de ellos podría ser la selección de los alimentos.

Las mezclas “unifeed” son diseñadas para ser más homogéneas y minimizar el consumo selectivo individual de los animales (Coppock et al., 1981). Sin embargo, la conducta de selección (sorting behavior) hacia los componentes más palatables de la mezcla, ha sido detectado en vacas ((Miller-Cushon et al., 2013; Groen et al., 2015; Gordon y DeVries, 2016) y terneras en crecimiento (Greter et al., 2008; DeVries et al., 2014).

Esta conducta de selección muestra un rechazo por las partículas de mayor tamaño a favor de las de pequeño, donde mayoritariamente se encuentran los concentrados (DeVries et al., 2007, Leonardi y Armentano., 2003). Este tipo de comportamiento de selección en mezclas que contienen altas proporciones de concentrados fermentables, incrementa el consumo de mezclas no equilibradas (disminuyendo el consumo de fibra efectiva), aumentando el riesgo de sufrir trastornos digestivos debido a un incremento en la producción de ácidos grasos volátiles, reduciendo así la capacidad tamponadora y el pH ruminal (Cook et al., 2004; Stone et al., 2004; Yant et al., 2006; DeVries et al., 2008).

Khan et al. (2014) evaluaron el comportamiento de selección de 8 terneras Holstein alimentadas con mezclas altas en forraje, las cuales presentaban distintos tamaños de partícula del forraje. Los resultados obtenidos demostraron que en mezclas “unifeed” con

un tamaño medio de partículas (65% de partículas > a 19 mm y un 6% de < de 1,18mm) se reduce el comportamiento de selección de los animales.

Además reduciendo la conducta de selección se reduce la competencia en comederos mejorando la conducta de alimentación diaria, disminuyendo el riesgo de alteraciones debido a una mayor distribución del consumo de NDF durante el día (DeVries et al., 2005).

5. Justificación del proyecto de tesis

Con todo lo dicho, la finalidad del proyecto de tesis era la de proponer una alternativa al sistema clásico de cebo de los terneros en nuestro país en el que en lugar de suministrar *ad libitum* y por separado el concentrado y una fuente de fibra como es la paja de cereal, ésta se sustituya por heno de alfalfa y el suministro se haga mediante una mezcla “unifeed” con el concentrado. Esta vía de suministro implicará además un cambio en el manejo de alimentación ya que en lugar de tener que disponer de dos tipos de comederos, con uno será suficiente, con lo que se amplía el espacio disponible para comer en los corrales de cebo. Por último, con el nuevo planteamiento se pretende tener la oportunidad de demostrar que sin comprometer los resultados productivos en el cebadero, se reduzca el riesgo que el animal entre en acidosis subclínica, al favorecer la ingesta de fibra y con ello el bienestar de los animales, y se pueda demostrar que el producto final obtenido, la carne de ternero, sea de calidad.

El proyecto contenía diversas incógnitas que debían ser resueltas. En primer lugar era preciso averiguar de qué manera, desde el punto de vista metodológico, debían tratarse las imágenes que íbamos a grabar sobre el comportamiento de los animales para poder facilitar su visión. Los equipos de grabación lo hacen en continuo lo que supone un gran dispendio de tiempo a la hora de su posterior visualización. La búsqueda de métodos de muestreo para acortar el tiempo destinado a la observación de las imágenes sin perder información se ha realizado en vacuno de leche (Maekawa et al., 2002; Chen et al., 2016) y en vacuno de carne (Mitlöhner et al., 2001) pero en este caso sin considerar todos los comportamientos que un animal realiza en un cebadero, especialmente algunos de

especial relevancia como la rumia. Con este objetivo se trataron los datos obtenidos en el primer experimento, independientemente del tratamiento al que estaban sometidos los animales.

En segundo lugar se precisaba conocer qué efecto tendría la simple sustitución de paja de cereal por heno de alfalfa sin variar el porcentaje de inclusión. Conocíamos que al inicio de la etapa de engorde de los terneros en el cebadero se caracteriza por un bajo consumo de paja (Devant et al., 2000) cuando el pienso y la paja de cereal se distribuyen por separado y *ad libitum*. El uso de una mezcla de ambos ingredientes en forma de mezcla “unifeed” mejora la ingestión de forraje permitiendo que el animal consuma la mezcla en la proporción deseada. Sin embargo, no puede evitarse que los terneros hagan un consumo selectivo por tamaño de partícula como han demostrado diferentes trabajos (Miller-Cushon et al., 2013; Groen et al., 2015; Gordon y De Vries, 2016). Por ello se planteó el primer experimento donde, en terneras al inicio del cebo, se testaban dos fuentes de forraje, paja de cereal y heno de alfalfa, distribuidas como mezclas “unifeed” para comprobar los efectos que este cambio tendría sobre la ingestión y el comportamiento de alimentación.

Una vez comprobado que la fuente forrajera podía influir sobre el comportamiento de selección del tamaño de partícula, el tercer objetivo era el de testar diferentes niveles de incorporación de heno de alfalfa en mezclas “unifeed” en la fase final de cebo. Queríamos comprobar hasta que nivel de inclusión podíamos llegar sin afectar la densidad energética y proteica de las mezclas, pero cambiando la proporción de fibra forrajera, y conocer sus efectos sobre la ingestión y el comportamiento de alimentación. Esta aproximación ha sido considerada como la más apropiada para la sustitución de fuentes forrajeras en mezclas para terneros (Glavean y Defoor, 2003; Salinas-Chavira et al., Swanson et al., 2017). Con el incremento del nivel de forraje y de fibra de origen forrajero se quería comprobar hasta que punto ello podía afectar las variables bajo estudio: ingestión y el comportamiento de alimentación. Con este objetivo se diseñó el segundo experimento.

Finalmente, una vez comprobado hasta que porcentaje de inclusión de heno de alfalfa podíamos llegar sin afectar negativamente la ingestión de los terneros y su

comportamiento de alimentación, nos interesaba averiguar que efectos tendría este nivel de inclusión de alfalfa en comparación al uso clásico de paja de cereal sobre los resultados productivos. Para ello se diseñó un último experimento realizado con 24 terneras alojadas en grupo pero con control individual de las variables a medir, donde se comparaban estos dos tratamientos: tratamiento control a base de un 10% de paja de cereal versus el tratamiento experimental a base de un 19% de heno de alfalfa. En este caso queríamos conocer la ingestión, la ganancia media diaria y la eficiencia alimenticia de los animales y comprobar hasta que punto el tratamiento experimental podía afectar a la calidad de la canal y de la carne, en relación al tratamiento control.

Bibliografía

- Albertí, P., Ripoll, G., Panea, B., Casasús, I., Joy, M., Congost, S., Vallés, M. 2010. Utilización de sistemas de cebo basados en ensilados y forrajes “unifeed” como alternativa al sistema de cebo a pienso; efecto en los parámetros productivos y en la calidad de la carne. *Informaciones técnicas* nº 215.
- Albertí, P., Sañudo, C., Santolaria P. 1995. El cebo de terneros con heno de alfalfa complementado con pienso. *Dialnet ISSN 1130-4804*, Nº. 63 (ABR), 1995, págs. 53-63
- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 83:1598–1624. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75030-2
- Allen, M. S. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *Journal Dairy Science*. 80:1447–1462. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76074-0
- Allen, M.S., B.J. Bradford, and K.J. Harvatine. 2005. The cow as a model to study food intake regulation. *Annu. Rev. Nutr.* 25:525.547. doi: 10.1146/annurev.nutr.25.050304.092704
- Anderson J. L., D. J. Schingoethe, K.F. Kalscheur, and A.R. Hippen. 2006. Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*. 89:3133-3142. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72587-5
- Armentano, L. and M. Pereira. 1997. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. *Journal Dairy Science*. 80:1416-1425. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76071-5
- Atwood, S. B., F. D. Provenza, R. D. Wiedmeier, and R. E. Banner. 2001. Influence of free-choice vs mixed-ration diets on food intake and performance of fattening calves. *Journal Animal Science*. 79:3034–3040.

- Bartle, S. J., R. L. Preston, and M. F. Miller. 1994. Mezclary energy source and density: Effects of roughage source, roughage equivalent, tallow level, and steer type on feedlot performance and carcass characteristics. *Journal Animal Science*. 72:1943-1953. doi:10.2527/1994.7281943x
- Beauchemin, K. A., L. Eriksen, P. Nørgaard, and L. M. Rode. 2008. Short Communication: Salivary secretion during meals in lactating dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 91:2077–2081. doi: 10.3168/jds.2007-0726.
- Beuachemin KA and Yang WZ 2005. Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal Dairy Science* 88, 2117-2129. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72888-5
- Beauchemin KA, Yang WZ and Rode LM 2003. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, rumen fermentation, and milk production. *Journal Dairy Science* 86, 630-643. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73641-8
- Bergman, E. N. 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiol. Rev.* 70:567–590. doi: 10.1152/physrev.1990.70.2.567
- Bradford B. J., C.R. Mullins. 2012. Strategies for promoting productivity and health of dairy cattle by feeding non-foragefiber sources. *Journal Dairy Science*. 95:4735-4746. doi: 10.3168/jds.2012-5393
- Casasús, Ripoll, G., I., Albertí, P. 2012. Cebo de terneras con silo de maíz. *Alimentación animal/Rendimiento*.
- Cerdeño, A., Vieira, C., Serrano, E., Lavín, P., Mantecón, A.R. 2006. Effects of feeding strategy during a short finishing period on performance, carcass and meat quality in previously-grazed young bulls. *Meat Science* 72:719-726. doi: 10.1016/j.meatsci.2005.10.002

- Chen, J. M., K. E. Schütz, and C. B. Tucker. 2016. Technical note: Comparison of instantaneous sampling and continuous observation of dairy cattle behavior in freestall housing. *Journal Dairy Science*. 99:8341-8346. doi:10.3168/jds.2016-11351
- Cole, N., Johnson, R., Owens, N. 1976. Influence of roughage level on the site and extent of digestion of whole shelled corn by beef steers. *Journal Animal Science*. 43:483-489. doi: 10.2527/jas1976.432483x
- Colucci, P. E., L. E. Chase, and P. J. Van Soest. 1982. Feed-intake, apparent ration digestibility, and rate of particulate passage in dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 65:1445–1456. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(82)82367-9
- Colucci, P. E., G. K. Macleod, W. L. Grovum, I. McMillan, and D. J. Barney. 1990. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *Journal Dairy Science*. 73:2143–2156. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(90)78895-9
- Cook, N. B., K. V. Nordlund, and G. R. Oetzel. 2004. Environmental influences on claw horn lesions associated with laminitis and subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Journal Dairy Science*. 87:E36–E46. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)70059-4
- Coppock, C. E., D. L. Bath, and B. Harris Jr. 1981. From feeding to feeding systems. *Journal Dairy Science*. 64:1230-1249. doi:10.3168/jds.S0022-0302(81)82698-7
- Defoor, P. J., M. L. Galyean, G. B. Slayer, G. A. Nunnery, and C. H. Parsons. 2002. Effects of roughage source and concentration on intake and performance by finishing heifers. *Journal Dairy Science*. 80:1395–1404.
- 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 Animal Science* 78:1667-1676. doi: 10.2527/2000.7861667x

- DeVries TJ, Beauchemin KA and M. A. G. von Keyserlingk. 2007. Mezclary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 90, 5572-5579. doi: 10.3168/jds.2007-0370
- DeVries, T. J., F. Dohme, and K. A. Beauchemin. 2008. Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feed sorting. *Journal Dairy Science*. 91:3958–3967. doi: 10.3168/jds.2008-1347
- DeVries, T. J., and M. A. G. von Keyserlingk. 2009. Competition for feed affects the feeding behavior of growing dairy heifers. *Journal Dairy Science*. 92:3922-3929. doi: 10.3168/jds.2008-1934. doi: 10.3168/jds.2008-1934
- DeVries, T. J., and M. A. G. von Keyserlingk. 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *Journal Dairy Science*. 88:625–631. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72726-0
- DeVries, T. J., T. Schwaiger, K. A. Beauchemin, and G. B. Penner. 2014a. Impact of severity of ruminal acidosis on feed-sorting behaviour in beef cattle. *Anim. Prod.* 54:1238–1242. doi: 10.1071/AN14227
- Eguinoa, P y Juguet, J. 2004. Sistemas de alimentación en cebo. Producción de carne de vacuno ecológico.
- Faleiro, A.G., Gonzalez, L.A., Blanch, M., Cavini, S., Castells, L., Ruíz de la Torre, J.L., Mantexa, X., Calsamiglia, S., y Ferret, A. 2010. Performance, ruminal change, behaviour and welfare of growing heifers fed a concéntrate diet with or without barley Straw. *Animal*. 5:2, 294-303. doi: 10.1017/S1751731110001904.
- FEDNA. 2016. Tabla de valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos. 2ª edición. . Fundación española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid.
- FEDNA. 2010. Tabla de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3ª edición. Fundación española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid.

- Feedipedia- Animal Feed Resources Information System- INRA CIRAD AFZ and FAO © 2012-2017. [HTTPS://www.feedipedia.org/](https://www.feedipedia.org/).
- Ferret, A., Frigola, O., Ramón, J., Maymí, N., Rebés, J. 1982. Producción de ternero de abasto con mezclas parcialmente forrajeras (utilización del ensilado de maíz).- INIA/Ser. Ganadera 17:17-32.
- Frame, J., 2005. Medicago sativa L. Grassland Index. A searchable catalogue of grass a forage legumes.
- Galyean, M. L., and P. J. Defoor. 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. *Journal Dairy Science*. 81(E. Suppl. 2):E8-E16. doi:10.2527/2003.8114_suppl_2E8x
- Galyean, M. L., and M. E. Hubbert. 2014. Traditional and alternative sources of fiber-roughage values, effectiveness, and concentrations in starting and finishing diets. In: *Proc. Plains Nutrition Counc. San Antonio, TX*. p. 74–98. doi: 10.15232/pas.2014-01329
- González, L.A., Ferret, A., Manteca, X., Calsamiglia, S. 2008a. Increasing sodium bicarbonate level in high-concentrate diets for heifers. I. Effects on intake, water consumption and ruminal fermentation. *Animal* 2:705-712. doi: 10.1017/S1751731108001675
- González, L. A., X. Manteca, S. Calsamiglia, K. S. Schwartzkopf- Genswein, and A. Ferret. 2012. Ruminal acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). *Anim. Feed. Sci. Tech. (Paris)* 172:66–79. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.12.009
- Gordon, L. J., and T. J. DeVries. 2016. Technical note: Impact of a molasses-based liquid feed supplement on the feed sorting behavior and growth of grain-fed veal calves. *Journal Animal Science*. 94:3519-3526. doi:10.2527/jas.2015-0195
- Grant, R. J. 1997. Interactions among forages and non forage fiber source. *Journal Dairy Science*. 80:1438-1446. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76073-9

- Greter, A. M., T. J. DeVries, and M. A. G. von Keyserlingk. 2008. Nutrient intake and feeding behavior of growing dairy heifers: Effects of mezcary dilution. *Journal Dairy Science*. 91:2786-2795. doi:10.3168/jds.2008-1052
- Groen M. J., M. A. Steele, and T.J. DeVries. 2015. Short communication: Effect of straw inclusion rate in a dry total mixed ration on the behavior of weaned dairy calves. *Journal Dairy Science*. 98:2693-2700. doi: 10.3168/jds.2014-8978
- Hales, K. E., H. C. Freetly, S. D. Shackelford, and D. A. King. 2013. Effects of roughage concentration in dry-rolled corn-based diets containing wet distillers grains with solubles on performance and carcass characteristics of finishing beef steers. *Journal Dairy Science*. 91:3315–3321. doi:10.2527/jas.2012-5942
- Huhtanen, P., Nousiainen, J., Rinne, M., 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and food Science*, 15: 293-323. doi: 10.2137/145960606779216317
- Iraira, S. 2013. Incorporación de fuentes de fibra no forrajera en raciones mixtas completas para terneros de cebo intensivo (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos.
- Iraira, S. P., Ruíz de la Torre, J.L., Rodríguez-Prado, M., Manteca, X., Calsamiglia, S., Ferret, A. 2012. Effect of feeding method on intake and behaviour of individually reared beef heifers fed a concentrate diet from 115 to 185 kg of body weight. *Animal* 6:9 1483-1490. doi: 10.1017/S1751731112000390
- Khan, M. A., Bach, A., Castells, LL., Weary, D. M. and von Keyserlingk, M. A. G. 2014. Effects of particle size and moisture levels in mixed rations on the feeding behavior of dairy heifers. *Animal* 8: 1722-1727. doi: 10.1017/S1751731114001487.
- Kononoff, P. J., and A. J. Heinrichs. 2003. The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *Journal Dairy Science*. 86:1445–1457. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73728-X

- Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs, and H. A. Lehman. 2003. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*. 86:3343–3353. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73937-X
- Kotb, A. R. & Luckey, T. D. (1972). Markers in nutrition. *Nurrition Abstracts and Reviews* 42, 813-845.
- Leonardi, C., and L. E. Armentano. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *Journal Dairy Science*. 86:557-564. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73634-0. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73634-0
- Maekawa, M., K. A. Beauchemin, and D. A. Christensen. 2002. Chewing activity, saliva production, and ruminal pH of primiparous and multiparous lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*. 85:1176–1182. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74180-5
- MAPAMA. 2017. Situación de mercado del sector vacuno de carne.
- MAPAMA. 2016. Caracterización del sector vacuno de carne en España.
- Mertens, D.R., 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal Dairy Science*. 80, 1463–1481. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2
- Mertens, D.R., 1994. Regulation of forage intake. Pages 450-493 in *Forage Quality. Evaluation and Utilization*. G.C. Fahey. Ed. Amer. Soc. Agron. Crop Sci. Soc. Amer., Madison, WI.
- Maulfair, D., Fustini, M., Heinrichs, AJ. 2011. Effect of varying total mixed ration particle size on rumen digesta and ecal particle size and digestibility in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*. 94 (7): 3527-36. doi: 10.3168/jds.2010-3718.
- Mauriès, M., 2003. *Alfalfa: cultivation, harvesting, storage, use*. France Agricultural Editions.

- Miller-Cushon, E. K., R. Bergeron, K. E. Leslie, G. J. Mason, and T. J. DeVries. 2013. Effect of early exposure to different feed presentations on feed sorting of dairy calves. *Journal Dairy Science*. 96:4624-4633. doi: 10.3168/jds.2013-6670
- Mitlöhner, F. M., J. L. Morrow-Tesch, S. C. Wilson, J. W. Dailey, and J. J. McGlone. 2001. Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *Journal Animal Science*. 79:1189–1193. doi:10.2527/2001.7951189x
- Moya, D., A. Mazzenga, L. Holtshausen, G. Cozzi, L. A. González, S. Calsamiglia, D. G. Gibb, T. A. McAllister, K. A. Beauchemin, and K. Schwartzkopf-Genswein. 2011. Feeding behavior and ruminal acidosis in beef cattle offered a total mixed ration or dietary components separately. *Journal Animal Science*. 89:520–530. doi: 10.2527/jas.2010-3045
- National Research Council. (NRC) 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Update 2000. National Academy Press. Washington, D.C.
- National Research Council (NRC) 1996. Nutrients requirements of beef cattle. Update 2000. National Academy Press, Washington D.C., USA.
- Owens, F.N., Secrist, D.S., Hill, W.J. y Gill, D.R. 1998. Acidosis in Cattle: A review. *Journal Animal Science* 76:275-286.
- Plaizier, J. C. 2004. Alfalfa as chopped hay or silage in alfalfa based total mixed rations for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:2495–2505. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73374-3
- Posado, R., Bodas, R., Taberner, M., Bartolomé, D., Herraiz, P., y García, J. 2013. Cebo de terneros con unifeed o pienso y paja: efecto sobre el rendimiento y el ambiente ruminal. AIDA (2013), XV Jornadas sobre Producción animal, Tomo I, 261-263.
- Ramón, J., Pérez A., Perucho, O., Frigola, O., Ferret, A., Navarro, L. 1986. Cebo de terneros con ensilados de sorgo grano planta entera de bajo nivel de taninos. *Compmezcla con el uso del ensilado de maíz*. ITEA 64:47-56.

- Riba, J., Perucho, O., Ferret, A., y Pérez, A. 1987. Engorde de terneros con ensilado de Ray-grass Italiano. ITEA, II Jornadas Sobre Producción Animal, 7: 183-185.
- Robinson, P. H., 1998. What are Dairy Nutritionists Looking for in Alfalfa Hay?. In: Proceedings, 28th California Alfalfa Symposium, 3-4 December, 1998, Reno, NV. UC Cooperative Extension, University of California, Davis.
- Robinson, P. H., S. Tamminga, and A. M. Van Vuuren. 1987. Influence of declining level of feed-intake and varying the proportion of starch in the concentrate on rumen ingesta quantity, composition and kinetics of ingesta turnover in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 17:37–62. doi: 10.1016/0301-6226(87)90051-0.
- Robles, V., González, L.A., Ferret, A., Manteca, X., Calsamiglia, S. 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation and feeding behaviors in heifers fed high-concentrate diets. *Journal Animal Science* 85:2538-2547. doi: 10.2527/jas.2006-739
- Salinas-Chavira, J., E. Alvarez, M. F. Montano, and R.A. Zinn. 2013. Influence of forage NDF level, source and pelletizing on growth performance, mezclary energetics, and characteristics of digestive function for feedlot cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 183:106–115. doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.05.004
- Shain, D. H., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, and D. W. Herold. 1999. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. *Journal Animal Science.* 77:1082-1092. doi:10.2527/1999.7751082x
- Stock, R., Britton, R. 1993. Acidosis in feedlot cattle. In: C. Parrot. Secondary benefits from feeding Rumensin. In: Scientific update on Rumensin/Tylan for the professional feedlot consultant, pp A1-A13. Elanco Animal Health, Indianapolis, IN, USA.
- Stone, W. C. 2004. Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *Journal Dairy Science.* 87(E.Suppl.):E13–E26. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)70057-0

- Swanson, K. C., Z. E. Carlson; M. C. Ruch, T. C. Gilbery, S. R. Underdahl, F. E. Keomanivong, M. L. Bauer, and A. Islas. 2017. Influence of forage source and forage inclusion level on growth performance, feeding behavior, and carcass characteristics in finishing steers. *Journal Animal Science*. 97:1325-1334. doi:10.2527/jas2016.1157
- Tafaj, M., B. Junck, A. Maulbetsch, H. Steingass, H.-P. Piepho, and W. Drochner. 2004. Digesta characteristics of dorsal, middle and ventral rumen of cows fed with different hay qualities and concentrates levels. *Arch. Anim. Nutr.* 58:325–342. doi: 10.1080/00039420412331273259
- Tafaj, M., Q. Zebeli, Ch. Baes, H. Steingass, and W. Drochner. 2007. A meta-analysis examining effects of particle size of total mixed rations on intake, rumen digestion and milk production in highyielding dairy cows in early lactation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 138:137–161. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.06.020
- Villalba, D., Cubilí, D., Fanlo, R., Tor, R., Serra, R., Descombres, CA., y Molina, E. 2010. Opciones de engorde ecológico de terneros en el pirineo de Lleida. IX congreso de la sociedad española de agricultura ecológica.
- Welch, J.G. 1982. Rumination, particle size and passage from the rumen. *Journal Animal Science*. 54:885-894. doi: 10.2527/jas1982.544885x
- Yang, W.Z., and K. A. Beauchemin. 2006. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *Journal Dairy Science*. 89:217-228. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72086-0
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2002. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on site and extend of digestion. *Journal Dairy Science*. 85:1958-1968. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74272-0
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2001. Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *Journal Dairy Science*. 84:2203–2216. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74667-X
- Zea, J. 2010. El cebo de terneros con ensilados de forrajes. Albéitar PV.

Zea, J., Díaz, M. 2011. Los ensilados de forrajes en los sistemas de producción de vacuno de carne. *Pastos*, 41(1), 35-75.

Zebeli, Q., J.R. Aschenbach, M. Tafaj, B., J. Boguhn, N. Ametaj and W. Drochner. 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of mezclary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 2012 Mar;95(3):1041-56. doi: 10.3168/jds.2011-4421.

Capítulo II.

Objetivos

Con el propósito de promover cambios en el sistema de cebo intensivo de terneras que permitan hacerlo viable económicamente, así como darle el valor añadido de ser un producto “saludable” acorde a la condición de carne de un animal rumiante, se ha planteado esta tesis cuyo objetivo general fue:

Proponer mezclas “unifeed” con heno de alfalfa como fuente de fibra forrajera que permitan alcanzar una buena respuesta productiva y mejorar el bienestar de las terneras de cebo, cuando éstas están sometidas a mezclas de alta concentración energética, como alternativa al sistema tradicional de suministro por separado de concentrado y paja.

Para obtener este objetivo general se han llevado a cabo tres experimentos cuyos objetivos específicos fueron:

- Averiguar el mejor método de muestreo de las imágenes obtenidas por videograbación de las actividades de comportamiento de las terneras, que permitan reducir al máximo el tiempo invertido en obtener resultados sin pérdida de información y equivalentes a un muestreo continuo durante 24 horas.
- Evaluar el efecto de la incorporación de alfalfa en una mezcla “unifeed” ad-libitum, sobre la ingestión, la digestibilidad, los resultados productivos y el comportamiento animal y de alimentación en terneras Simmental en crecimiento, en comparación con el sistema clásico de pienso y paja.
- Evaluar diferentes niveles de incorporación de heno de alfalfa en mezclas “unifeed” ad-libitum, en el engorde de terneras Simmental para encontrar el nivel óptimo que permita obtener buenos resultados sobre el consumo, selección de partículas, conducta de alimentación y tiempo de rumia en comparación con el sistema clásico de pienso y paja.
- Evaluar los efectos del nivel óptimo de incorporación del heno de alfalfa en mezclas “unifeed” en el cebo intensivo de terneras Simmental, sobre el consumo, los resultados productivos y la calidad de la canal y la carne, comparando estos parámetros con los obtenidos utilizando pienso y paja.

Capítulo III.

Artículos Publicados

ARTÍCULO I

Madruga, A., Mainau, E., González, L.A., Rodríguez-Prado, M., Ruíz de la Torre, J.L., Manteca, X., and Ferret, A. 2017. *Technical note: Recording rules for behavioral studies in growing heifers high-concentrate diets*. Journal Animal Science 95:2339–2344. doi:10.2527/jas2016.1037

<https://academic.oup.com/jas/article-abstract/95/6/2339/4702352?redirectedFrom=fulltext>

ARTÍCULO II

Madruga, A., Mainau, E., González, L.A., Rodríguez-Prado, M., Ruíz de la Torre, J.L., Manteca, X., and Ferret, A. 2017. *Effect of forage source included in total mixed ration on intake, sorting and feeding behavior of growing heifers fed high-concentrate diets*. Journal Animal Science 95:3322–3330. doi:10.2527/jas2017.1608

<https://academic.oup.com/jas/article-abstract/95/8/3322/4702407?redirectedFrom=fulltext>

ARTÍCULO III

Madrugá, A., Mainau, E., González, L.A., Rodríguez-Prado, M., Ruíz de la Torre, J.L., Manteca, X., and Ferret, A. 2018. *Effect of increasing the level of alfalfa hay in finishing beef heifer diets on intake, sorting, and feeding behavior*. Journal Animal Science 96:1–10. doi: 10.1093/jas/skx051

<https://academic.oup.com/jas/article-abstract/96/1/1/4827731?redirectedFrom=fulltext>

Capítulo IV.

Documentación Complementaria

Effect of including extra alfalfa hay in a high-concentrate diet fed to heifers at finishing on performance, and carcass and meat quality.

ABSTRACT

To evaluate the effects of including extra alfalfa hay in high concentrate diets fed to beef heifers on intake, average daily gain (**ADG**), gain to feed ratio (**G:F**), and carcass and meat quality, 24 Simmental heifers (initial BW of 235.6 ± 4.19 kg) allotted in groups of 3 were used in a randomized block design with 2 treatments and 12 heifers per treatment. Treatment diets offered as total mixed ration (**TMR**) were: a) TMR with 10% barley straw (**BS**), and b) TMR with 19% alfalfa hay (**AH**). The experiment was performed in 4 28-d experimental periods, where measurements were carried out in the last week of each period. After that, heifers were allotted in the farm and fed the corresponding diet until reaching the target weight of 400 kg. Feed intake and ADG were greater ($P < 0.05$) for AH than BS (9.5 vs 8.4 kg/d, and 1.45 vs 1.29 kg/d, respectively). However, the average G:F ratio was unaffected by diet. Hot carcass weight and dressing percentage were not affected by diet. Whereas the conformation grade of carcasses was not different between diets, BS carcasses tended ($P = 0.07$) to be fatter than AH carcasses. Meat color and pH of the meat were not different between diets. After dissection of the sixth rib, the proportion of fat, lean and bone, and meat composition in water, collagen, intramuscular fat, and cholesterol were unaffected by diet. However, protein content was greater in the meat of heifers fed BS than AH ($P = 0.01$). The proportion of C16:0 was greater in AH than in BS ($P = 0.017$), whereas the proportions of C18:1 *trans*-11 and C18:1 *n*-7 were greater in BS than in AH ($P = 0.020$ and $P = 0.042$, respectively). When fatty acid content was expressed as g per 100 g of LM, the content of C14:0 was greater in AH than in BS ($P = 0.020$), and tended to be greater for C14:1 ($P = 0.094$). On the contrary, the content was greater in BS for C15:0, C18:1 *trans*-11, and PUFA:SFA ratio ($P < 0.05$). Meat characteristics evaluated by trained panelists did not differ in toughness, chewiness, juiciness, odor, taste and overall acceptability, and there were no differences between diets in Warner-Bratzler shear force values after 3 or 10 d of ageing. In summary, heifers fed alfalfa hay at 19% of inclusion showed a greater feed intake and ADG than those fed barley straw at 10% of inclusion, but without affecting G:F ratio. However, this extra alfalfa hay was not sufficient to cause any relevant change in the carcass and meat quality of the heifers fed this diet.

1. INTRODUCTION

Animal production in the future should consider the compromise between animal performance, in terms of feed efficiency and economic profitability, and animal welfare, something increasingly demanded by consumers, to obtain quality meat with special attention to health aspects of this food. To prevent digestive upsets and maximize energy intake in high-concentrate finishing diets fed to beef cattle, Galyean and Derfoor (2003) recommend adding a percentage of roughage. However, more information is needed on the level of forage required to reduce digestive disorders without compromising animal performance. Samuelson et al. (2016) reported that 8 to 10 % was the typical range of forage inclusion used in feedlot finishing diets. A decrease in DMI has been reported with a level of forage inclusion greater than 10 % (Hales et al., 2013) or 15 % (Swanson et al., 2017). However, Madruga et al. (2018) showed an increased DMI and time spent ruminating with an increased inclusion of alfalfa hay from 13 to 19 % on DM basis, thus helping to prevent ruminal acidosis.

Ruminant fat has a greater proportion of saturated fatty acids (SFA), and a lower polyunsaturated fatty acids (PUFA) to SFA ratio than nonruminant animals (Enser et al., 1996). Strategies that lead to an increase in the PUFA:SFA ratio in intramuscular fat would improve the healthiness of beef from a consumer perspective. Decreasing the proportion of concentrate in the diet caused a linear decrease in the concentration of intramuscular SFA and a linear increase in the PUFA:SFA ratio (French et al., 2000). We hypothesized that with a proportion of forage greater than that usually used in a high-concentrate diet fed to heifers at finishing, it would be possible to enhance intramuscular fat quality without compromising animal performance. Thus, the objectives were to evaluate the effects of including 19 % of alfalfa hay compared to 10 % barley straw in the diet offered to beef heifers on intake, average daily gain (ADG), gain to feed ratio (G:F), and carcass and meat quality.

2. MATERIALS AND METHODS

Animal procedures were approved by the Institutional Animal Care and Use Committee (reference CEEAH 1585) of the Universitat Autònoma de Barcelona (Spain) in accordance with the European directive 2010/63/EU.

Animals, Experimental Design and Housing

Twenty four Simmental heifers (188.9 ± 2.06 d old and with an average initial BW of 235.6 ± 4.19 kg) were blocked in 4 BW groups (260, 241, 230, and 209 kg) with 6 heifers per bloc, and randomly assigned to 1 of 2 experimental treatments. Thus, there were 12 heifers per treatment. Treatment diets offered as total mixed ration (TMR) were (Table 1): a) TMR with 10% barley straw (BS), and b) TMR with 19% alfalfa hay (AH). The experiment was performed in 4 28-d experimental periods, where measurements were carried out in the last week of each period. Heifers were allotted in groups of 3, in a roofed open barn. Each pen had a concrete floor and was 5 m long and 2.5 m wide ($12.5 \text{ m}^2/\text{pen}$) and was equipped with a feed bunk and a water trough. The adjacent pens were separated by a metal fence with a bar design that allowed contact between animals.

To record feed intake, an automated system was used. Feed bunks (120 L capacity) were mounted on waterproof digital platform scales in each stall (model DI-160, DIGI I's Ltd, Maesawa-cho, Isawa-gun, Iwake, Japan). Individual feed intake was achieved because each heifer was provided with an electronic ear tag (Allflex HDX ULTRA HP ISO 982, Azasa, Madrid, Spain), which was detected by an antenna (Allflex panel reader, Azasa, Madrid, Spain) placed next to each feed bunk each time that a heifer ate. Each scale was programmed to transmit the feed weight at intervals of 5 s. The information was downloaded onto a computer with appropriate data capture software (LabView, National Instruments Corporation, Austin, TX, USA).

Table 1. Ingredients and chemical composition of the diets

Item	Diets ¹	
	BS	AH
Ingredient composition, % of DM		
Barley straw	10.0	-
Alfalfa hay	-	19.0
Corn, ground	35.0	41.5
Barley, ground	43.0	31.5
Soybean meal, 44%CP	9.0	5.0
Salt	0.7	0.7
Sodium bicarbonate	1.0	1.0
Calcium carbonate	0.5	0.5
Dicalcium phosphate	0.4	0.4
Vitamin-mineral premix ²	0.4	0.4
Chemical composition, % DM		
CP	11.9	13.1
NDF	23.8	21.2
ADF	7.7	8.8
Ether extract	2.0	2.0
Ash	4.8	7.5
NFC ³	57.5	56.2
ME ⁴ , Mcal/kg of DM	2.83	2.81

¹ BS = TMR with 10% of barley straw; AH = TMR with 19% of alfalfa hay

²Nutral Terneros® (NUTRAL, S.A., Colmenar Viejo, Madrid, Spain): vitamin and mineral premix contained per kg premix (as fed): 1,500 kIU vitamin A, 500 kIU vitamin D₃, 3.75 g vitamin E, 0.5 g vitamin B1, 0.5 g vitamin B2, 0.25 g vitamina B6, 1.25 mg vitamin B12, 15.0 g Zn, 2.5 g Fe, 83.3 g S, 55.0 mg Co, 2.5 g Cu, 7.5 g Mn, 100.0 mg I, 100.0 mg Se

³ NFC: nonfiber carbohydrates calculated as 100 – (CP + ash + NDF + EE)

⁴According to NRC (2000)

Animal and Feed Data Collection

Heifers were weighed before feeding on two consecutive days at the beginning and the end of the experiment, and every week during the experiment. The weights recorded were used to calculate ADG, and subsequently the gain to feed ratio (G:F).

Diets, offered on an *ad libitum* basis as TMR, were formulated to be isoenergetic and isonitrogenous for a targeted gain of 1.2 kg/d (NRC, 2000). Table 1 reflects the ingredients and chemical composition of the diets after analysis. The fatty acid profile of the diets is shown in Table 2. Two different concentrates were formulated, one for BS and another for AH diet. The ingredients of the concentrates, except minerals and premix, were ground through a 5-mm screen. Forages were mechanically chopped (Seko SpA, Curtarolo, Italy) before their incorporation in the TMR. After chopping, the mean (mean \pm SD) particle size of barley straw was 15.5 ± 2.90 mm, and 5.92 ± 2.98 mm for alfalfa hay. Total mixed rations were manually prepared every day before their distribution by mixing each concentrate with the corresponding forage source. The leftover feed was collected at 0830 each morning, then feed offered once daily at 0930h. After calculating the day's feed intake on the basis of the difference between feed offered and refused, feed offered was increased by 15% in relation to the previous day's intake to ensure the *ad libitum* basis. Feed intake, expressed on as-fed basis, was individually monitored every 5 s for 24 h during 7 d in each sampling wk.

Table 2. Fatty acid profile of the diets

Fatty acid	Diets ¹	
	BS	AH
	-----g/100 g of fatty acid methylesters ² -----	
16:0	17.42	16.68
18:0	2.29	2.17
18:1, <i>cis</i> -9	21.58	22.57
18:2, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12	51.60	50.66
18:3, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15	4.21	4.65
SFA ³	21.85	20.65
MUFA ⁴	22.00	23.10
PUFA ⁵	54.95	55.30

¹ BS = TMR with 10% of barley straw; AH = TMR with 19% of alfalfa hay

² Only fatty acids with a proportion greater than 1 g/100 g have been included

³ SFA = \sum C12:0, C13:0, C14:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, C22:0, C24:0

⁴ MUFA = \sum C16:1, C17:1, C18:1 *n*-9, C18:1 *n*-7, C20:1 *n*-9, C22:1

⁵ PUFA = \sum C18:2 *n*-6, C18:3 *n*-3, C20:2 *n*-6

Feed Chemical Analysis

Feed samples were dried in a forced air oven at 60°C for 48 h for later chemical analysis. Samples were ground in a hammer mill through a 1-mm screen (P. PRAT SA, Sabadell, Spain) and retained for analysis. Dry matter content was determined by drying samples for 24 h at 103°C in a forced-air oven, and ash content according to AOAC (1990; ID 950.05). Nitrogen content was determined by the Kjeldahl procedure (AOAC, 1990; ID 976.05). Ether extract was performed according to AOAC (1990; ID 920.39). The NDF and ADF contents were determined sequentially by the procedure of Van Soest et al. (1991) using a thermostable alpha-amylase and sodium sulfite, and expressed on an ash-free basis.

Carcass Quality Measurement

Heifers were allotted in the farm and fed the corresponding diet until each BW block reached the target weight of 400 kg. Heifers were then transported in block to a commercial slaughterhouse (Sabadell, Spain) 5.8 km from the UAB experimental farm. Heifers were slaughtered using standard procedures in an EU-licensed abattoir. Immediately before transfer to the abattoir, the animal BW was registered. After slaughter, HCW was recorded, and carcass back fat and conformation were classified according to the EU classification system into 1, 2, 3, 4 and 5 and S, E, U, R, O, P categories, respectively (EU Regulation No 1234/2007 and No 1249/2008). Dressing percentage was calculated from hot carcass weight. Instrumental color of back fat was recorded at three places on the loin region for L* (measures darkness to lightness), a* (measures redness), and b* (measures yellowness) with a colorimeter HunterLab MiniScan EZ 45/0 LAV (Hunter Associates Laboratory, Inc, Reston, Virginia, USA), using illuminant D65 and observer 10°. These data were used to calculate Chroma ($C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$) and Hue angle value ($H^\circ = \arctan(a^*/b^*)$).

Meat Quality Measurement

Sampling

After 24 h of carcass chilling under commercial conditions, a bone-in rib section at the sixth rib level was removed from each left and right carcass and transported for subsequent analysis. Once in the laboratory, LM was excised from the sixth right rib and used for immediate measurements of pH and color. The pH was measured using a Crisson portable pH-meter (model 507; Crisson Instruments SA, Alella, Spain) with a xerolyt electrode. Instrumental color measurements were recorded after 30 minutes blooming for L*, a*, and b* with a colorimeter HunterLab MiniScan EZ 45/0 LAV (Hunter Associates Laboratory, Inc, Reston, Virginia, USA), using illuminant D65 and observer 10°. These data were used to calculate Chroma and Hue angle values. After that, this sample and the sixth left rib were vacuum-packed and frozen 72h post mortem at -20 ± 2 °C until further analysis. The LM sample taken from the sixth right rib, once thawed at room temperature, was used to determine intramuscular fat, protein, collagen, and water content by near

infrared transmission technique using a FoodScan™ analyzer (Type 78800, FOSS, Hilleroed, Denmark).

Intramuscular fatty acid profile

A subsample of 2 g from the right LM was used to determine the fatty acid profile of intramuscular fat was extracted as described by Folch et al. (1957). The subsample was homogenized in 100 ml of 2:1 (vol:vol) chloroform:methanol. After being agitated for 2h, the mixture was filtered and re-extracted twice in a separator funnel. The filtrate was mixed at a ratio of 2:5:1 with 10% NaCl (vol/vol) and 4mL and 2mL of internal standard (C13:0 and C19:0, respectively) to quantify individual fatty acids (FA). After being left overnight, the layer containing lipid in chloroform was decanted and dried in a rotary evaporator at 40°C. Chloroform remaining was evaporated with a N₂ stream. Fatty acids were separated and quantified as FA methyl esters (FAME) prepared using the AOAC (1990) method. The extracted fat was mixed with 2 mL of 2N KOH and 1 mL of 14% (wt/vol) boron trifluoride in methanol. The sample was methylated by incubation at 80°C for 60 min and, after cooling to room temperature, was extracted with 5 mL of hexane and 2mL of 10%NaCl. The FAME in the hexane layer were analyzed by GC (5890 Series II GC, Hewlett Packard, S.A., Barcelona, Spain). All samples were methylated in duplicate, and 0.1 µL was introduced by split injection into a fused silica capillary column (30 m x ID 0.25 mm, BPX 70; 0.25-microm film thickness; VWR International Eurolab S.L., Llinars del Vallès, Barcelona, Spain). Hydrogen was the carrier gas at 41 cm/sec. Column temperature was initially 80°C for 1 min, then increased by 3°C per min to 210°C, and finally held at 215°C for 10 min. Individual FAME were identified by retention time with reference to FAME MIX C4-C24 standards (N.18919-1AMP, Sigma Aldrich Co LLC, St Louis, MO). The *cis*-9, *trans*-11-CLA and *trans*-10, *cis*-12-CLA isomers were identified with reference to methyl esters of CLA (O-5507, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO). The FA profile was expressed as g per 100 g total FA.

Cholesterol

In addition, another subsample of 0.750 g, also subjected to total lipid extraction by the procedure of Folch et al. (1957), was used to determine the cholesterol content using 1 mL of acetone:acetonitrile (40:60, v/v), and 250 µl of 5 α -cholestane added to each sample as internal standard. Samples were saponified with 5.5 mL of KOH 11.5% in methanol (55:45, v/v) for 1 hour at 80°C. After cooling to room temperature, 2 mL of hexane, 1.5mL of NaCl 10% and 3mL of ethanol were added. The tubes were vortexed for 2 min and left overnight. The upper phase was recovered (1 mL) and evaporated to dryness under a stream of nitrogen. After that, 1 mL of acetone:acetonitrile (40:60, v/v) was added. Cholesterol content was analyzed by HPLC with detection by refractive index (HPLC-IR, Waters 515, Waters Corporation, Milford, USA). The column used was the Agilent Poroshell 120 EC-C18 Threaded Column (Agilent, Santa Clara, USA).

Instrumental texture

The sixth left ribs were also thawed for 24 h at 2 ± 2 °C and lean, bone (including tendons and cartilage) and fat were separated, and their respective weights were expressed as percentage of total rib weight. To determine the texture at 3 and 10 d of ageing, Latissimus dorsi muscles were excised from the sixth right and left ribs. The muscles were wrapped in aluminum foil and cooked in a convection oven (Spider 5, Novosir, Spain), pre-heated at 200 °C, until reaching a core temperature of 71 °C, monitored with a data logger and a thermocouple probe (Comark, Oregon, USA) inserted horizontally at the steak midpoint. Steaks were allowed to cool, at room temperature, before five or six 1.27-cm-diameter cores were removed from each steak parallel to the longitudinal orientation of the muscle fibers. All cores were sheared perpendicular to the long axis of the core using a Texture Analyser TA.HD plus (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) equipped with a Warner-Bratzler blade with crosshead speed set at 2 mm/s. The maximum peak force (kg) was recorded and results were expressed as the average of all sub-samples.

Sensory analyses

To carry out the sensory analysis, samples of right rib LM aged 10 d were thawed at $2 \pm 2^\circ\text{C}$ for 36 h and cooked first in a double hot-plate grill and after in the oven preheated to 200°C until the final internal temperature reached 45°C and 60°C , respectively, which was determined using individual thermocouples inserted into the geometric center of each steak. Cooked steaks were trimmed of external fat and connective tissue, then cut in 6 subsamples, wrapped individually in coded aluminum foil using 3 random digits and were tested immediately. Two replicated sessions with 6 trained panelists were carried out in a sensory room (ISO 8589, 1988) equipped with individual cabins and red lighting. Sample order was designed to avoid any first sample and carry over effects (MacFie et al., 1989). Panelists evaluated beef in blind conditions of 24 LM samples corresponding to the 2 diets and 10 d of ageing. They ate unsalted toasted bread and drank mineral water to rinse their palate between samples. Panelists evaluated each steak for tenderness, juiciness, chewiness, odor, flavor, and overall acceptability using a unipolar, semi-structured scale of 10 cm. Each line scale was suitably anchored on the left (0 cm = tender for toughness; easy to chew; dry for juiciness; none detectable for odor or taste intensity; and unacceptable for overall acceptability) as well as the right (10 cm = tough for toughness; difficult to chew; juicy for juiciness; pronounced for odor or taste intensity; and very desirable for overall acceptability). The data from each panelist were entered into a computer software program. Scores of individual panelists were averaged to obtain a single value for statistical analysis.

Statistical Analyses

All data were screened for normality using the UNIVARIATE procedure of SAS (v. 9.3; SAS Institute Inc, Cary, NC, USA). Heifer was considered experimental unit ($n = 12$). Daily means for intake were calculated as the average of 7 d in each experimental period and statistically analyzed using the MIXED procedure of SAS (v. 9.3; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

The model for intake and performance data contained the fixed effects of treatment, block, and treatment x block interaction, and random effects of heifers and period. The model for carcass data, meat quality and fatty acid profile contained the final BW as covariate, fixed effect of treatment, and random effect of heifer except for sensory analysis, where panelists and replication were specified as a random effect. For categorical variables not normally distributed (fatness and conformation), rank transformation prior to the analysis was used. Analysis of rank-transformed data were analyzed by the Tukey adjust Multiple Comparisons test of the PROC GLM procedure of SAS (v. 9.3.; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Untransformed data are presented as Mean \pm SE. Significance was declared at $P < 0.05$ and tendencies discussed at $P < 0.10$.

3. RESULTS

Intake, ADG and G:F ratio

Initial BW was not different between diets but final BW was greater in heifers fed AH than BS ($P = 0.039$; Table 3). Average feed intake was affected by diet, being greater for AH than BS ($P = 0.049$). This greater feed intake was numerically different in the first and third period of the experiment ($P = 0.126$ and $P = 0.115$, respectively), tended to be greater in the fourth ($P = 0.083$), whereas there were no differences in the second one ($P = 0.917$; Table 3). Average daily gain was affected by diet, being greater in AH than BS ($P = 0.035$). This greater ADG was shown in the first period as a tendency ($P = 0.10$), it was only numerically greater for heifers fed AH in the third and fourth period, and was not different in the second one ($P > 0.10$; Table 3). The average G:F ratio was unaffected by diet ($P > 0.10$; Table 3), a result which did not change across the experiment (data not shown).

Table 3. Intake and performance of beef heifers fed 10% barley straw (BS) or 19% alfalfa hay (AH)

Item	Diets		SEM	P-value
	BS	AH		
Initial BW, kg	234.0	237.2	3.54	0.384
Final BW, kg	364.3	383.9	8.79	0.039
Feed intake, kg/d				
d 1 to 28	6.74	8.19	0.899	0.126
d 28 to 56	8.55	8.48	0.611	0.917
d 56 to 84	8.84	10.05	0.723	0.115
d 84 to 112	9.46	11.51	1.097	0.083
d 1 to 112	8.40	9.51	0.521	0.049
ADG, kg/d				
d 1 to 28	1.11	1.42	0.183	0.100
d 28 to 56	1.31	1.29	0.170	0.877
d 56 to 84	1.44	1.63	0.155	0.246
d 84 to 112	1.31	1.50	0.819	0.238
d 1 to 112	1.29	1.45	0.071	0.035
G:F ratio, kg/kg	0.15	0.17	0.140	0.375

Carcass and Meat Quality

Hot carcass weight and dressing percentage were not affected by diet ($P > 0.10$; Table 4). Whereas conformation grade of carcasses was not different, back fat grade tended to be affected by diet ($P = 0.072$), BS carcasses being slightly fattier than AH (Table 4). Back fat color did not differ between diets ($P > 0.10$; Table 4).

Meat color values and pH of the meat at 24 h after slaughter were not different between diets ($P > 0.10$; Table 5). After dissection of the sixth right rib, the proportion of fat, lean and bone was not different between diets ($P > 0.10$; Table 5), being on average 22.1%, 55.8%, and 22.3 %, respectively.

Meat composition in water, collagen, intramuscular fat, and cholesterol was unaffected by diet ($P > 0.10$; Table 5), but protein content was greater in the meat of heifers fed BS than AH ($P = 0.010$).

Fatty Acid Profile and Fatty Acid Content of Intramuscular Fat

Fatty acid profile did not differ between diets except for C16:0, C18:1 *trans*-11, and C18:1 *n*-7 (Table 6). The proportion of C16:0 was greater in AH than in BS ($P = 0.017$), whereas the proportions of C18:1 *trans*-11 and C18:1 *n*-7 were greater in BS than in AH ($P = 0.020$ and $P = 0.042$, respectively). Moreover, the proportion of SFA was greater in AH than in BS ($P = 0.033$). When fatty acid content was expressed as g per 100 g of *Longissimus* muscle (Table 7), differences between diets were detected in C14:0, C15:0, C18:1 *trans*-11, and in the ratio PUFA:SFA ($P < 0.05$), and tended to differ in the case of C14:1 ($P < 0.10$). The content of C14:0 was greater in AH than in BS ($P = 0.020$), and tended to be greater for C14:1 ($P = 0.094$). On the contrary, the content was greater in BS for C15:0, C18:1 *trans*-11, and PUFA:SFA ratio ($P < 0.05$).

Sensory Panel

Meat characteristics evaluated by trained panelists were not different between diets (Table 8). Meat samples did not differ in toughness, chewiness, juiciness, odor, taste and overall acceptability ($P > 0.10$). In addition, there were no differences between diets in Warner-Bratzler shear force values after 3 or 10 d of ageing ($P > 0.10$; Table 8).

Table 4 Carcass characteristics of beef heifers fed 10% barley straw (BS) or 19% alfalfa hay (AH)

Item	Diet		SEM	P-value
	BS	AH		
Carcass				
HCW, kg	212.0	214.7	1.74	0.309
Dressing percentage	53.5	52.7	0.43	0.302
Conformation grade ¹	3.0 ± 0.0 ²	2.9 ± 0.08		0.305
Fatness grade ³	2.9 ± 0.08	2.8 ± 0.11		0.072
Backfat color				
L*	71.0	68.4	2.06	0.407
a*	4.8	4.3	0.35	0.359
b*	12.1	10.8	0.519	0.116
Chroma	13.1	11.7	0.55	0.105
Hue angle	1.2	1.2	0.02	0.889

¹Conformation grade: 6 = Superior; 5 = Excellent; 4 = Very good; 3 = Good; 2 = Fair; 1 = Poor

²Mean ± standard error

³Fatness grade: 1 = Low; 2 = Slight; 3 = Average; 4 = High; 5 = Very high

Table 5 Meat quality of beef heifers fed 10% barley straw (BS) or 19% alfalfa hay (AH)

Item	Diet		SEM	P-value
	BS	AH		
<i>Longissimus</i> muscle				
pH	5.48	5.45	0.027	0.584
Color				
L*	36.3	36.2	1.38	0.959
a*	14.8	14.7	0.25	0.723
b*	12.4	12.3	0.37	0.931
Chroma	19.3	19.2	0.35	0.796
Hue angle	0.69	0.70	0.014	0.941
6 th rib dissection, %				
Fat	22.1	22.0	1.24	0.987
Lean	57.1	54.4	2.32	0.457
Bone	20.9	23.6	1.63	0.289
Meat composition				
Water, %	71.6	71.3	0.33	0.627
Protein, %	22.9	22.3	0.16	0.010
Collagen, %	1.32	1.42	0.041	0.117
IMF, %	4.73	4.94	0.415	0.746
Cholesterol, mg/100g	61.0	61.1	2.25	0.996

Table 6. Fatty acid profile of the LM of beef heifers fed 10% barley straw (BS) or 19% alfalfa hay (AH)

Item	Diet		SEM	P- value
	BS	AH		
	----g/100 g total fatty acids----			
C14:0	2.23	2.65	0.154	0.101
C14:1	0.43	0.55	0.055	0.195
C15:0	0.45	0.38	0.035	0.182
C16:0	23.63	25.74	0.799	0.017
C16:1	2.88	3.24	0.170	0.181
C17:0	1.44	1.22	0.084	0.119
C17:1	1.05	0.90	0.074	0.209
C18:0	16.31	16.77	0.624	0.638
C18:1 <i>trans</i> -9	0.95	0.93	0.016	0.483
C18:1 <i>trans</i> -11	2.98	1.76	0.478	0.020
C18:1 <i>n</i> -9	38.09	36.81	0.741	0.278
C18:1 <i>n</i> -7	2.29	2.06	0.104	0.042
C18:2 <i>n</i> -6	4.67	4.60	0.280	0.865
C18:3 <i>n</i> -6	0.13	0.12	0.032	0.841
C18:3 <i>n</i> -3	0.23	0.27	0.022	0.305
C20:0	0.25	0.24	0.015	0.626
CLA <i>cis</i> -9 <i>trans</i> -11	0.22	0.23	0.024	0.687
C20:3 <i>n</i> -6	0.42	0.43	0.041	0.878
C20:4 <i>n</i> -6	1.05	1.03	0.097	0.895
C22:2	0.30	0.08	0.099	0.171
SFA ¹	43.86	46.62	1.193	0.033
MUFA ²	44.73	43.56	0.798	0.354
PUFA ³	6.67	6.41	0.415	0.681
PUFA:SFA	0.15	0.14	0.010	0.308
<i>n</i> -6: <i>n</i> -3	28.76	24.51	2.807	0.339

¹SFA = \sum C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0

²MUFA = \sum C14:1, C16:1, C17:1, C18:1 *trans*-9, C18:1 *trans*-11, C18:1 *n*-9, C18:1 *n*-7

³PUFA = \sum CLA *cis*-9 *trans*-11, C22:2; *n*-6 = C18:2 *n*-6, C18:3 *n*-6, C20:3 *n*-6, C20:4 *n*-6; *n*-3 = C18:3 *n*-3

Table 7. Fatty acid content of the LM of beef heifers fed 10% barley straw (BS) or 19% alfalfa hay (AH)

Item	Diet		SEM	P- value
	BS	AH		
	----g/100 g of LM----			
C14:0	0.36	0.43	0.030	0.020
C14:1	0.07	0.09	0.012	0.094
C15:0	0.07	0.06	0.005	0.018
C16:0	3.83	4.29	0.243	0.243
C16:1	0.47	0.54	0.036	0.213
C17:0	0.24	0.20	0.018	0.229
C17:1	0.17	0.15	0.015	0.341
C18:0	2.65	2.83	0.426	0.576
C18:1 <i>trans</i> -9	0.155	0.157	0.011	0.951
C18:1 <i>trans</i> -11	0.49	0.29	0.086	0.031
C18:1 <i>n</i> -9	6.19	6.25	0.513	0.936
C18:1 <i>n</i> -7	0.38	0.35	0.033	0.591
C18:2 <i>n</i> -6	0.77	0.79	0.084	0.921
C18:3 <i>n</i> -6	0.02	0.02	0.005	0.777
C18:3 <i>n</i> -3	0.04	0.04	0.004	0.278
C20:0	0.04	0.04	0.003	0.952
CLA <i>cis</i> -9 <i>trans</i> -11	0.04	0.04	0.004	0.680
C20:3 <i>n</i> -6	0.07	0.07	0.008	0.784
C20:4 <i>n</i> -6	0.18	0.18	0.025	0.925
C22:2	0.05	0.01	0.014	0.152
SFA ¹	7.18	7.85	0.461	0.360
MUFA ²	7.43	7.54	0.597	0.907
PUFA ³	1.64	1.44	0.151	0.388
PUFA:SFA	0.23	0.18	0.020	0.030
<i>n</i> -6: <i>n</i> -3	28.77	24.51	2.807	0.339

¹SFA = \sum C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0

²MUFA = \sum C14:1, C16:1, C17:1, C18:1 *trans*-9, C18:1 *trans*-11, C18:1 *n*-9, C18:1 *n*-7

³PUFA = \sum CLA *cis*-9 *trans*-11, C22:2; *n*-6 = C18:2 *n*-6, C18:3 *n*-6, C20:3 *n*-6, C20:4 *n*-6; *n*-3 = C18:3 *n*-3

Table 8. Least squares means for trained sensory panel on LM and Warner-Bratzler shear force (kg) of *Latissimus dorsi* muscle of beef heifers fed 10% barley straw (BS) or 19% alfalfa hay (AH)

Item	Diets		SEM	P-value
	10BS	19AH		
Toughness	3.96	3.86	0.343	0.845
Chewiness	4.59	4.52	0.367	0.912
Juiciness	5.17	5.10	0.295	0.871
Beef odor	4.78	3.48	0.730	0.256
Blood odor	1.59	1.58	0.209	0.989
Fat odor	2.83	2.61	0.266	0.584
Beef flavor	4.82	4.86	0.248	0.918
Fat flavor	2.64	2.25	0.223	0.251
Liver flavor	2.37	2.31	0.280	0.892
Acid flavor	3.06	2.81	0.266	0.541
Overall acceptability	4.49	4.89	0.292	0.393
WBSF ¹ , kg				
3 d post-mortem	4.44	4.39	0.198	0.857
10 d post-mortem	3.91	4.20	0.245	0.458

¹Warner-Bratzler shear force

4. DISCUSSION

Increasing forage inclusion in high-concentrate finishing diets increases DMI (Bartle et al., 1994; Galyean and Defoor, 2003). Zinn (1986), testing three alfalfa hay levels (10, 15 and 20 %) fed to crossbred steers, found only a numerical increase in feed intake and weight gain. After estimating the net energy values of these diets, estimates were not affected by increasing forage level, suggesting a possible associative effect of forage level on nutrient utilization. Salinas-Chavira et al. (2013), working with Holstein steers, tested a steam-flaked corn-based diet containing 9.6 or 19.2 % (DM basis) of alfalfa hay, and did

not detect any effect on DMI or weight gain, but efficiency tended to decrease with increasing alfalfa hay level.

However, other authors recommended not exceeding 10% (Hales et al., 2003) or 15% (Swanson et al., 2017) of forage in high concentrate finishing diets to avoid a decrease in DMI. The results obtained in the present experiment showed that the inclusion of alfalfa hay at 19% (DM basis) increased feed intake in comparison with the diet in which barley straw was supplied at 10% (DM basis), confirming previous results obtained by Madruga et al. (2018) working with beef heifers fed diets with increasing inclusion of alfalfa hay from 13 to 19 %. Increased DMI led to an increased ADG, although feed efficiency was unaffected. At slaughter, there were no differences between diets in HCW or dressing percentage, and carcasses did not show a different conformation grade. However, the greater proportion of concentrate in the BS diet tended to increase the fatness score of their carcasses, in agreement with Keane et al. (1989), O'Sullivan et al. (2003), and Cerdeño et al. (2006).

Carotenoids provided by the diet are absorbed and deposited into adipose tissue (Yang et al., 1992). Since grains contain low level of carotenoids compared with forage, it is not surprising that the yellow pigmentation of fat declines as the amount of grain increases. However, Muir et al. (1998), in their revision on effects of forage- and grain-based feeding systems on beef quality, stated that in five of the nine experiments in which fat color was measured there was no significant effect of fat color, as also occurred in the comparison between BS and AH in the present study.

Differences in meat pH values at 24 h post-mortem are mainly related to differences in muscle glycogen content at slaughter or to differences in stress susceptibility in pre-slaughter handling. Meat from steers fed grass-based diets have been found to present higher pH values than steers fed concentrate-based diets (French et al., 2000; del Campo et al., 2008). In the present experiment, however, in which transport and slaughter handling was the same for all animals involved, no differences detected in meat pH would suggest that there were no differences in muscle glycogen at slaughter. This result is in agreement with those obtained by Leheska et al. (2008), comparing the effect of conventional and grass-feeding systems on meat pH, and by Arnett et al. (2012), working

with Jersey steers fed steam-flaked, corn-based diets supplemented with 12 and 24 % forage (DM basis). In addition, meat pH was in the interval considered to be normal (between 5.4 and 5.8) for beef (Mach et al., 2006).

The study of the effect of diet on meat color has produced contradictory results. The LM muscle color of Angus-cross steers allotted to a pasture finishing system was darker (lower L*) than those fed a concentrate diet supplemented with 18% of corn silage (Duckett et al., 2007). Darker-colored LM from steers finished on forages vs. concentrates have also been described by other authors (Realini et al., 2004; Dunne et al., 2006; Duckett et al. 2013). In addition, a redder meat has been related to forage-based diets (Dunne et al., 2006), although the opposite has been reported by Duckett et al. (2007) or with no relationship according to other authors (Realini et al., 2004; Kerth et al., 2007; Duckett et al., 2013). With regard to the yellowness of the meat, LM b* values did not differ between forage-based and concentrate-based diets (Realini et al., 2004; Duckett et al., 2013), values were higher (Kerth et al., 2007, French et al., 2000) or lower (Dunne et al., 2006; Duckett et al., 2007) in forage-based diets. On the contrary, in other studies no effect on meat lightness, redness and yellowness have been found by Cerdeño et al. (2006), Blanco et al. (2010) and Arnett et al. (2012), in accordance with results recorded in the present experiment. Because both meat color and water-holding capacity are affected by the acidification that takes place post-mortem (Warris, 2010), the absence of effects on color found in the present experiment could be related to the fact that there were no differences in final pH.

The proportions of muscle and bone tissues obtained after rib dissection are usually greater in animals fed forage-based diets, whereas fat tissue is greater in concentrate-based diets (Duckett et al., 2007 and 2013; Blanco et al., 2010). Cerdeño et al. (2006) assessing the effect of finishing strategy on rib composition, did not find differences in muscle and bone tissues when comparing Brown Swiss x Limousine bulls fed concentrate and barley straw offered on *ad libitum* basis versus bulls fed 4 kg of concentrate and alfalfa hay offered *ad libitum*. However, subcutaneous and intermuscular fat were greater in animals fed the diet based on concentrate and barley straw. We did not find differences in any of the tissues dissected after dissection of the 6th rib. With regard to

the chemical composition of LM, no differences were recorded in moisture and IMF but CP content differed between diets, being greater in the BS than in the AH diet. Similar results for moisture and IMF were reported by French et al. (2000), Arnett et al. (2012) and Blanco et al. (2017). As we did working with Simmental heifers, Blanco et al. (2017) found more CP content in LM of Parda de Montaña bulls fed a high-concentrate diet than those fed TMR with a forage to concentrate ratio of 60 to 40. This unexpected result was not supported by other authors (French et al., 2000; Leheska et al., 2008; Arnett et al., 2012) who reported similar CP content in LM for animals fed forage-based or concentrate-based diets. No differences found between diets in the cholesterol and collagen content is in agreement with Leheska et al. (2008) for cholesterol, but the result disagrees with Duckett et al. (2007) for collagen, because these authors reported more collagen for Angus-cross steers allotted to a pasture than those allotted to a high-concentrate diet.

Thanks to the amount and composition of their fatty acids, forages can help improve the nutritional quality of meat (Glasser et al., 2013), because plants are the primary source of *n*-3 PUFA (Dewhurst et al., 2006). Feeding grass increases the content of linolenic, eicosapentanoic and docosahexanoic acids in beef muscle and adipose tissue, resulting in a lower *n*-6:*n*-3 ratio (Scollan et al., 2006). However, haymaking induced a slight decrease in total fat and fatty acid content, and among the fatty acids a decrease in C18:3 (Glasser et al., 2013). This fact, together with the proportion of alfalfa hay included in the AH diet, could explain the limited differences in the FA profile and fatty acid content of the intramuscular fat provided by both diets. The most relevant result obtained in this subject was the greater proportion and content of C18:1 *trans*-11 recorded in BS than in AH diet. Vaccenic acid is an intermediate formed from the partial biohydrogenation of linoleic and linolenic acids (Jenkins et al., 2008). Rumen biohydrogenation of these fatty acids is reduced when high concentrate diets are fed (Sauvant and Bas, 2001), and this effect can be attributed to lipolysis inhibition at the low ruminal pH that can be detected with these diets (Van Nevel and Demeyer, 1996; Bauman et al., 2003). Moreover, when the proportion of forage in the diet decreases, the duodenal flow of C18:1 *trans*-11 increases (Loor et al., 2004). Although ruminal pH was not recorded in the present experiment, when identical diets were tested in a previous experiment (Madruga et al., 2018), a lower

average and minimum pH and a greater number of hours under pH < 5.8 or < 5.6 were recorded, a finding which would confirm the previous comment about reduced biohydrogenation caused by lipolysis inhibition.

Increasing the forage to concentrate ratio resulted in a linear decrease in the concentration of SFA, and a linear increase in PUFA:SFA ratio (Woods and Fearon, 2009). Although in the present experiment this ratio passed from 10 to 90 in the BS diet to 19 to 81 in AH, this change was insufficient to cause these effects. On the contrary it caused an increase in SFA proportion and a decrease in PUFA:SFA ratio in the AH diet. This unexpected result, linked with the increase detected in the content of C14:0 and in the proportion of C16:0, was also found by Blanco et al. (2017) when they compared the fatty acid profile of young bulls fed a high concentrate diet with steers fed a total mixed ration made up of 50% alfalfa hay, 10% barley straw and 40% corn grain.

The meat of steers grazing on ryegrass was less tender, juicy, flavorful, and with a lesser acceptability score than of steers fed a diet containing 85% corn, 7.5% cottonseed and 7.5% of a commercial premix (Kerth et al., 2007). However, there is abundant literature where the comparison between meats of animals fed forage-based diets and concentrate-based diets did not reveal differences in their quality (French 2000; Cerdeño; Arnett 2012), as occurred in the present experiment. In addition to the analysis made by the trained sensory panel, the instrumental tenderness evaluation also confirmed that there was no difference between diets in the WBSF values recorded. These values, obtained 3 d and 10 d post-mortem, were below the threshold of 4.6 kg proposed by Schackelford et al. (1991) to consider beef meat tender.

In conclusion, alfalfa hay as forage source for finishing heifer diets offered as TMR at 19% of inclusion allowed greater feed intake and ADG than diets using barley straw at 90:10 of concentrate:forage ratio, but without affecting G:F ratio. However, this level of forage inclusion was not sufficient to cause any relevant change in the carcass and meat quality of the heifers fed this more forage-based diet in which in addition, barley straw was replaced by alfalfa hay.

LITERATURE CITED

- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Arnett, E. J., F. L. Fluharty, S. C. Loerch, H. N. Zerby, R. A. Zinn, and P. S. Kuber. 2012. Effects of forage level in feedlot finishing diets on carcass characteristics and palatability of Jersey beef. *J. Anim. Sci.* 90:960-972. doi:10.2527/jas.2011-4027
- Bartle, S. J., R. L. Preston, and M. F. Miller. 1994. Dietary energy source and density: Effects of roughage source, roughage equivalent, tallow level, and steer type on feedlot performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 72:1943-1953.
- Bauman , D. E., J. W. Perfield II, M. J. de Veth, and A. L. Lock. 2003. New perspectives on lipid digestion and metabolism in ruminants. *Proc. Cornell Nutr. Conf.*, 65th annual meeting, East Syracuse, NY, Oct 21-23. pp:175-189.
- Blanco, M., I. Casasús, G. Ripoll, B. Panea, P. Albertí, and M. Joy. 2010. Lucerne grazing compared with concentrate-feeding slightly modifies carcass and meat quality of young bulls. *Meat Sci.* 84:545-552. doi:10.1016/j.meatsci.2009.10.010
- Blanco, M., I. Casasús, G. Ripoll, P. Albertí, B. Panea, and M. Joy. 2017. Is meat quality of forage-fed steers comparable to the meat quality of conventional beef from concentrate-fed bulls? *J. Sci. Food Agric.* 97:4943-4952. doi:10.1002/jsfa.8371
- Cerdeño, A., C. Vieira, E. Serrano, P. Lavín, and A. R. Mantecón. 2006. Effects of feeding strategy during a short finishing period on performance, carcass and meat quality in previously-grazed young bulls. *Meat Sci.* 72:719-726. doi:10.1016/j.meatsci.2005.10.002
- del Campo, M., G. Brito, J. M. Soares de Lima, D. Vaz Martins, C. Sañudo, R. San Julián, P. Hernández, and F. Montossi. 2008. Effect of feeding strategies including different proportion of pasture and concentrate, on carcass and meat quality traits in Uruguayan steers. *Meat Sci.* 80:753-760. doi:10.1016/j.meatsci.2008.03.026

- Dewhurst, R. J., K. J. Shingfield, M. R. F. Lee, and N. D. Scollan. 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Tech.* 131:168-206. doi:10.1016/j.animfeedsci.2006.04.016.
- Duckett, S. K., J. P. S. Neel, R. N. Sonon jr., J. P. Fontenot, W. M. Clapham, and G. Scaglia. 2007. Effects of winter stocker growth rate and finishing system on: II. Ninth-tenth-eleventh-rib composition, muscle color, and palatability. *J. Anim. Sci.* 85:2691-2698. doi:10.2527/jas.2006-734
- Duckett, S. K., J. P. S. Neel, R. M. Lewis, J. P. Fontenot, and W. M. Clapham. 2013. Effects of forage species or concentrate finishing on animal performance, carcass and meat quality. *J. Anim. Sci* 91:1454-1467. doi:10.2527/jas2012-5914
- Dunne, P. G., F. P. O'Mara, F. J. Monahan, and A. P. Moloney. 2006. Changes in colour characteristics and pigmentation of subcutaneous adipose tissue and *M. longissimus dorsi* of heifers fed grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Sci.* 74:231-241. doi:10.1016/j.meatsci.2006.02.003
- Enser, M., K. Hallett, B. Hewett, G. A. Fursey, and J. D. Wood. 1996. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Sci.* 44:443-458.
- Folch, J., M. Lees, and G. H. S. Sloane-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226:497-509.
- French, P., C. Stanton, F. Lawless, E. G. O'Riordan, F. J. Monahan, P. J. Caffrey, and A. P. Moloney. 2000. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate-based diets. *J. Anim. Sci.* 78:2849-2855.
- Galyean, M. L., and P. J. Defoor. 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81(E. Suppl. 2):E8-E16. doi:10.2527/2003.8114_suppl_2E8x

- Glasser, F., M. Doreau, G. Maxin, and R. Baumont. 2013. Fat and fatty acid content and composition of forages: A meta-analysis. *Anim. Food Sci. Tech.* 185:19-34. doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.06.010
- Hales, K. E., H. C. Freetly, S. D. Shackelford, and D. A. King. 2013. Effects of roughage concentration in dry-rolled corn-based diets containing wet distillers grains with solubles on performance and carcass characteristics of finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 91:3315–3321. doi:10.2527/jas.2012-5942
- Jenkins, T. C., R. J. Wallace, P. J. Moate, and E. E. Mosley. 2008. Board invited review: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids with the rumen microbial ecosystem. *J. Anim. Sci.* 86:397-412. doi: 10.2527/jas.2007-0588
- Keane, M. G., G. J. More O’Ferrall, and J. Connolly. 1989. Growth and carcass composition of Friesian, Limousin x Friesian and Blonde d’Aquitaine x Friesian steers. *Anim. Prod.* 48:353-365.
- Kerth, C. R., K. W. Braden, R. Cox, L. K. Kerth, and D. L. Rankins Jr. 2007. Carcass, sensory, fat color, and consumer acceptance characteristics of Angus-cross steers finished on ryegrass (*Lolium multiflorum*) forage or on a high-concentrate diet. *Meat Sci.* 75:324-331. doi:10.1016/j.meatsci.2006.07.019
- Leheska, J. M., L. D. Thompson, J. C. Howe, E. Hentges, J. Boyce, J. C. Brooks, B. Shriver, L. Hoover, and M. F. Miller. 2008. Effects of conventional and grass-feeding systems on the nutrient composition of beef. *J. Anim. Sci.* 86:3575-3585. doi:10.2527/jas.2007-0565
- Loor, J. J., K. Ueda, A. Ferlay, Y. Chilliard, and M. Doreau. 2004. Biohydrogenation duodenal flow, and intestinal digestibility of trans fatty acids and conjugated linoleic acids in response to dietary forage:concentrate ratio and linseed oil in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:2472-2485. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73372-X
- Mach, N., M. Devant, I. Díaz, M. Forn-Furnols, M. A. Oliver, J. A. García, A. Bach. 2006. Increasing the amount of n-3 fatty acids in meat from young Holstein bulls through nutrition. *J. Anim. Sci.* 84:3039-3048. doi:10.2527/jas.2005-632

- Madruga, A., L. A. González, E. Mainau, J. L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, X. Manteca, and A. Ferret. 2018. Effect of increasing the level of alfalfa hay in finishing beef heifer diets on intake, sorting and feeding behavior. *J. Anim. Sci.* 96:1-10. doi:10.1093/jas/skx051
- MacFie, H. J., N. Bratchell, K. Greenhoff, and L.V. Vallis. 1989. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. *J. Sensory Studies* 4:129-148.
- Muir, P. D., J. M. Deaker, and M. D. Bown. 1998. Effects of forage- and grain-based feeding systems on beef quality: A review. *New Zealand J. Agric. Res.* 41:623-635.
- NRC. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Update 2000. National Academy Press. Washington, D. C.
- O'Sullivan, A., K. Galvin, A. P. Moloney, D. J. Troy, K. O'Sullivan, and J. P. Kerry. 2003. Effect of pre-slaughter rations of forage and/or concentrates on the composition and quality of retail packaged beef. *Meat Sci.* 63:279-286.
- Realini, C. E., S. K. Duckett, G. W. Brito, M. Dalla Rizza, D. De Mattos. 2004. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Sci.* 66:567-577. doi:10.1016/S0309-1740(03)00160-8
- Salinas-Chavira S., E. Alvarez, M. F. Montaña, R.A. Zinn. 2013. Influence of forage NDF level, source and pelletizing on growth performance, dietary energetics, and characteristics of digestive function for feedlot cattle. *Anim. Feed Sci. Tech.* 183:106-115. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.05.004
- Samuelson, K. L., M. E. Hubbert, M. L. Galyean, and C. A. Löest. 2016. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionist: The 2015 New Mexico State and Texas Tech University survey. *J. Anim. Sci* 94:2648-2663. doi:10.2527/jas2016-0282

- Sauvant, D, and P. Bas. 2001. La digestion des lipids chez le ruminant. INRA Prod. Anim. 14:303-310.
- Scollan, N., J-F Hocquette, K. Nuernberg, D. Dannenberger, I. Richardson, and A. Moloney. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. Meat Sci. 74:17-33. doi:10.1016/j.meatsci.2006.05.002
- Schackelford, S. D., J. B. Morgan, H. R. Cross, and J.W. Savell. 1991. Identification of threshold levels for Warner-Bratzler shear force in beef top loin steaks. J. Muscle Foods 2:289-296.
- Swanson, K. C., Z. E. Carlson; M. C. Ruch, T. C. Gilbery, S. R. Underdahl, F. E. Keomanivong, M. L. Bauer, and A. Islas. 2017. Influence of forage source and forage inclusion level on growth performance, feeding behavior, and carcass characteristics in finishing steers. J. Anim. Sci. 97:1325-1334. doi:10.2527/jas2016.1157
- Van Nevel, C. J., and D. I. Demeyer. 1996. Effect of pH on biohydrogenation of soyabean oil by rumen contents in vitro. Reprod. Nutr. Dev. 36:53-63. doi:10.1051/rnd:19960105
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.
- Warris, P. D. 2010. Post-mortem changes in muscle and its conversion into meat. In: Meat Science, 2nd Edition: An introductory text. pp 65-76.
- Woods, V. B., and A. M. Fearon. 2009. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: a review. Livest. Sci. 126:1-20. doi: 10.1016/j.livsci.2009.07.002
- Yang, A., T. W. Larsen, and R. K. Tume. 1992. Carotenoid and retinol concentration in serum, adipose tissue and liver and carotenoid transport in sheep, goats and cattle. Australian J. Agric. Res. 43:1809-1817.

Zinn, R.A. 1986. Influence of forage level on response of feedlot steers to salinomycin supplementation. J. Anim. Sci. 63:2005-2012.

Capítulo V.

Discusión General

El sistema de producción de carne bovino en nuestro país se basa en el uso de concentrados y paja de cereal suministrados *ad libitum* y por separado. Cuando se mide qué porcentaje de ambos ingredientes consume libremente el animal, la relación concentrado:paja arranca con un valor medio de 95:5 tras el destete, con animales de 100 kg de peso vivo (Devant et al., 2000; Iraira et al., 2012), alcanza un valor de 92:8 con animales de 240 kg (Devant et al., 2000) y puede alcanzar una media que se sitúa en valores de 90:10 o 88:12 cuando se mide en un ciclo completo de cebo (González et al., 2008).

El reducido consumo de forraje en estos animales se asocia a un incremento de los trastornos digestivos, en particular de acidosis ruminal. Esto junto con la percepción creciente del consumidor que los terneros deberían comer más forraje como animales herbívoros que son, justifica que haya crecido el interés por formular dietas más forrajeras sin que ello signifique reducir necesariamente los resultados productivos. Además, la variabilidad de los precios de los ingredientes más comunes en los concentrados, también justifica la búsqueda de alternativas a un modelo dependiente en exceso de materias muchas de las cuales son de importación. En esta línea cabe enmarcar el uso de mezclas completas, también denominadas mezclas “unifeed” o TMR (siglas en inglés de Total Mixed Ration), así como el uso de otras fuentes forrajeras de mejor calidad nutritiva, como el heno de alfalfa, bajo la hipótesis que sería así más fácil asegurar un mayor consumo de forraje. En este sentido, y como resultado de los tres experimentos realizados, a continuación se discuten conjuntamente los resultados obtenidos al ofrecer paja de cebada o heno de alfalfa en mezclas “unifeed” a terneras en cebo, haciendo hincapié en los siguientes apartados: resultados productivos, comportamiento, fermentación ruminal y resultados económicos. El planteamiento general fue el de empezar con una misma proporción de forraje en el experimento 1 (EXP 1) en animales jóvenes, para luego probar proporciones más elevadas de heno de alfalfa, en los experimentos 2 y 3 (EXP 2 y EXP 3).

1. Resultados productivos

En la Tabla 1 se exponen los resultados productivos obtenidos en los tres experimentos.

Tabla 1. Consumo de alimentos, ganancia media diaria (GMD) e índice de conversión (IC) medidos en terneras que consumían paja de cereal (BS) a niveles de inclusión del 8 o del 10%, o heno de alfalfa (AH) a niveles de inclusión del 8 o del 19%.

	EXP 1		EXP 2		EXP 3	
	Terneras 140 a 250 kg		Terneras 280 a 440 kg		Terneras 240 a 400 kg	
	BS 8%	AH 8%	BS 10%	AH 19%	BS 10%	AH 19%
Ingestión, kg	6,8	6,3	8,2	8,8	8,4 ¹	9,5 ¹
GMD, kg/d	1,7	1,5	--	--	1,2	1,5
IC, kg/kg	3,59	3,77	--	--	6,761	6,221

¹Variables medidas en materia fresca

La ingestión de alimento, en terneras al inicio del crecimiento y con una misma proporción de forraje, tiende a ser superior en las alimentadas con paja de cebada, mientras que en la fase final de cebo observamos una mayor ingestión con la dieta con un 19% de heno de alfalfa. En el EXP 2 vimos que con un 13% de inclusión de alfalfa se registraban los mismos resultados que con paja de cebada, mientras que con niveles de inclusión por encima del 13%, las dietas con heno de alfalfa permitían una mayor ingestión. Estos resultados rechazan las recomendaciones hechas por otros autores en el sentido que no debe excederse de un 10% (Hales et al., 2013) o de un 15% (Swanson et al., 2017) en la inclusión de forraje en raciones con alto contenido en concentrado para que la ingestión no se vea afectada.

Con los datos obtenidos en los distintos experimentos y con la finalidad de obtener valores medios de utilidad práctica se realizaron diferentes regresiones en las que la variable independiente era el peso vivo o la edad del animal y la dependiente era la

ingestión. La Tabla 2 resume los valores de estas regresiones, separando las hechas con las dietas a base de paja de cereal de las usadas con heno de alfalfa.

Tabla 2. Regresiones lineales ($y = a + bx$) entre la ingestión de alimento y el peso vivo o la edad del animal

Regresión	a	b	R ²	P-value	RSD
Ingestión-Peso					
-Paja de cereal	33,732	0,0152	0,66	$P < 0,001$	0,897
-Heno alfalfa	24,806	0,0184	0,74	$P < 0,001$	0,920
Ingestión-Edad					
-Paja de cereal	12,718	0,0282	0,85	$P < 0,001$	0,641
-Heno alfalfa	0,2012	0,0342	0,89	$P < 0,001$	0,699

En general se puede comentar que los coeficientes de determinación son más elevados en la regresión ingestión-edad que en la regresión ingestión-peso vivo, algo mejores con heno de alfalfa que con paja de cereal y que la desviación estándar residual es algo más elevada con alfalfa que con paja.

La Tabla 3 expone los valores estimados a peso y edad concreta a lo largo del cebo, extraídos de las anteriores ecuaciones. Se puede observar que hasta los 250 kg de peso vivo, la ingestión con paja de cereal supera a la de heno de alfalfa, pero que a partir de ese peso este resultado se invierte. De igual forma, hasta los 150 días de edad la ingestión con paja de cereal es mayor que con heno de alfalfa y a partir de este punto, los animales que consumen heno de alfalfa superan a los que consumen paja de cereal.

Tabla 3. Ingestión de alimento a un peso y a una edad concreta según el animal coma paja de cereal o heno de alfalfa como fuente de forraje

Peso, kg	Ingestión, kg		Edad, días	Ingestión, kg	
	Paja cereal	Heno alfalfa		Paja cereal	Heno alfalfa
100	4,9	4,3	100	4,1	3,6
150	5,7	5,2	150	5,5	5,3
200	6,4	6,2	200	6,9	7,0
250	7,2	7,1	250	8,3	8,8
300	7,9	8,0	300	9,7	10,5
350	8,7	8,9	350	11,1	12,2
400	9,5	9,8	--	--	--

Finalmente, con los datos de ingestión recogidos y combinándolos con los de la ganancia media diaria de los animales se realizó la regresión entre el índice de conversión y la edad de los animales. En este caso las ecuaciones obtenidas fueron: $y = 0,016x + 0,834$ para la paja de cereal, y para el heno de alfalfa $y = 0,0116x + 1,703$, con coeficientes de determinación de 0,60 y 0,65, respectivamente. Con estas ecuaciones se obtuvieron los datos que aparecen en la Tabla 4. Hasta los 150 días de edad el IC es mejor en los animales que comen paja, éste se iguala a la edad de 200 días para luego ser mejor en los animales que consumen heno de alfalfa.

Tabla 4. Índice de conversión a una edad concreta según el animal coma paja de cereal o heno de alfalfa como fuente de forraje

Edad, días	Índice de conversión, kg/kg	
	Paja cereal	Heno alfalfa
100	2,4	2,9
150	3,2	3,4
200	4,0	4,0
250	4,8	4,6
300	5,6	5,2
350	6,4	5,8

2. Comportamiento

2.1 Actividades de comportamiento de los animales

En el primer experimento, la observación de los comportamientos realizados por las terneras se hizo mediante visualización continua. Este método de observación permitió buscar métodos alternativos para reducir la carga de trabajo en este tipo de estudios como se muestra en el primer artículo. Sin embargo, en éste no se mostraron los resultados desde un punto de vista más práctico como es el de saber cuántos minutos dedica el animal al día en ejecutar cada una de las actividades, qué coeficiente de variación tiene cada una de ellas, cuál es el rango de ocurrencia y en cuántos animales sería necesario medirla para que la observación fuera correcta. Para ello se realizó un test LSD (least significant difference test). La Tabla 5 expone estos resultados, con los que se puede concluir que excepto en las actividades de alimentación (comer, beber y rumia) y

en la de descanso (ninguna actividad), el número de animales que se precisa hace que sea a la práctica muy difícil de obtener la información en las actividades restantes.

Tabla 5. Actividades de comportamiento realizadas por las terneras desde los 140 kg a los 250 kg: valores medios expresados en minutos, CV (%), rango y cálculo del número de animales necesarios para medir este comportamiento.

Actividad	Media, min	CV, %	Rango	n
Comer	92,1	22,0	60-147	6
Beber	17,7	30,7	8-33	12
Rumiar	295,1	24,4	187-455	8
Socializar	26,4	56,6	8-62	41
Acicalarse	44,5	58,7	13-108	44
Estereotipia ¹	4,1	52,8	0-15	140
Estereotipia ²	9,5	104,7	0-21	58
Remover cama	3,9	67,3	0-13	100
Rascarse	15,9	88,4	4-40	36
Descansar	925,6	9,3	674-1040	2

¹ Tongue-rolling; ² Lamer las barras de las cercas

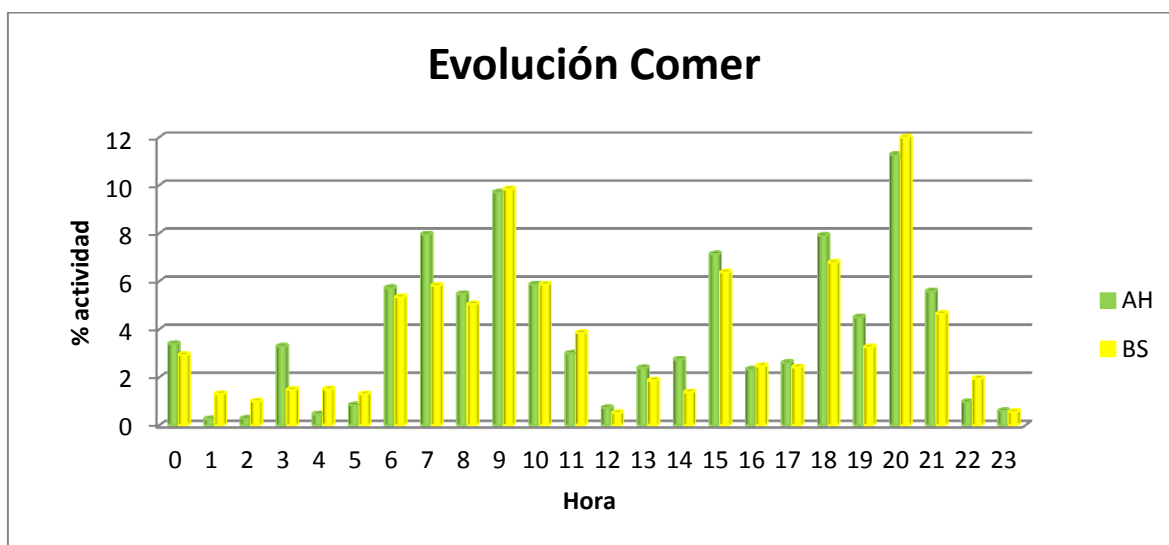
2.2 Evolución del comportamiento a lo largo del día

Conocer cómo evolucionan a lo largo del día las actividades principales de comportamiento que realiza un animal, como son las de alimentación, da una información relevante para realizar unas buenas prácticas de manejo. En cierta medida podría considerarse como una manera de expresar el comportamiento “natural” de los animales, teniendo en cuenta que no sufren ni hambre ni sed, no sufren estrés físico o

térmico, no sufren dolor ni experimentan miedo, con la excepción de que está en condiciones de confinamiento, por lo que si tiene limitaciones de espacio. Para ello es importante previamente definir las condiciones en los que se hace el estudio.

En nuestro caso, el seguimiento del comportamiento de las terneras utilizadas en el primer experimento, entre los 140 y los 250 kg de peso vivo, se hizo durante la primavera, en una nave cubierta, con orientación sureste-noroeste y con solo una pared en la parte posterior de la nave. Los corrales estaban separados por cercas metálicas que posibilitaban que los animales se vieran, oyeran y contactaran. Los animales estaban alojados individualmente, por tanto no competían por la comida, se les distribuía ésta una vez al día (9,00 h) y siempre tenían comida y agua a libre disposición. Cabe recordar que la mezcla “unifeed” contaba con una relación concentrado:forraje de 92:8, siendo el forraje paja de cereal (BS) o heno de alfalfa (AH). Las Figuras 1, 2 y 3 reflejan la evolución de las actividades de comer, beber y rumiar.

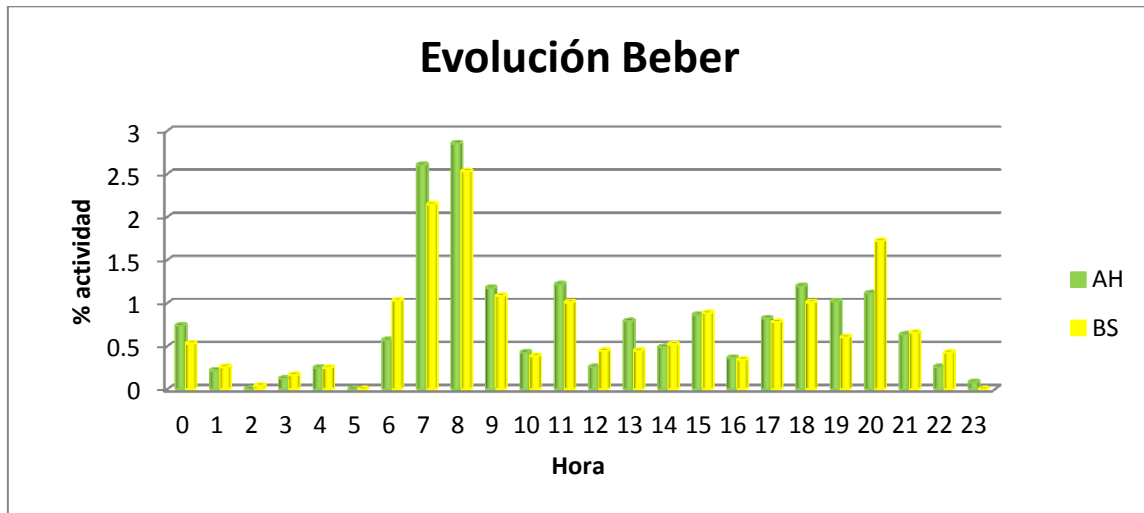
Figura 1. Evolución a lo largo del día de la actividad de comer



La Figura 1 muestra como las terneras tiene dos momentos importantes donde la actividad de comer es prioritaria. El primero se desarrolla entre las 6 y las 11 h de la mañana, con un pico bien marcado a las 9 h, que es el momento de distribución de la mezcla. El segundo se produce por la tarde entre las 18 y las 21 h, con otro pico a las 20 h, sin que en este caso haya ninguna actividad concreta que explique esta elevación. Este patrón de alimentación es similar al descrito por González et al. (2008) trabajando con

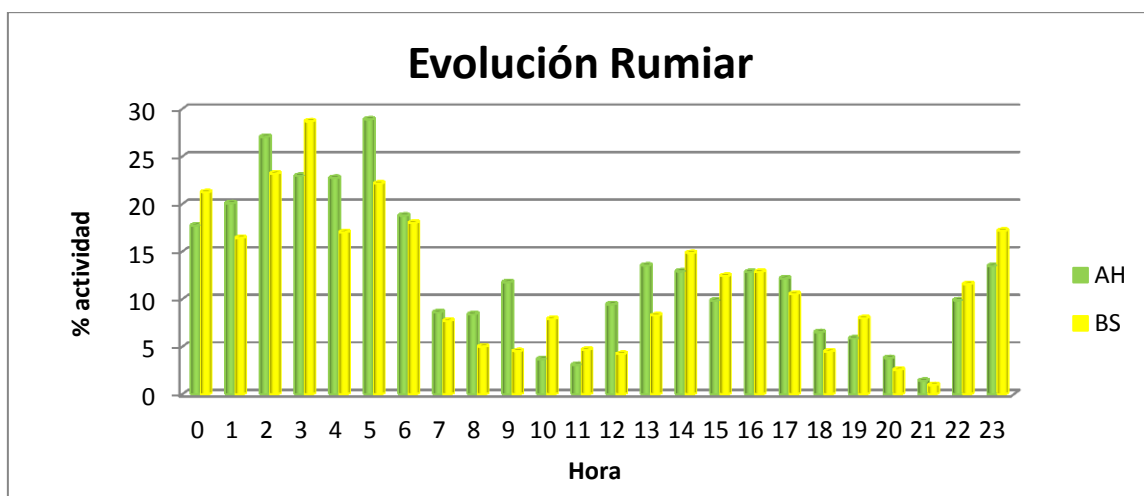
terneras Frisonas alojadas en condiciones de cebadero, es decir con competencia a la hora de comer, y comiendo concentrado y paja sin mezclar, siendo estos ingredientes distribuidos diariamente a las 8,30h. Cabe igualmente destacar las 15 h, donde puede verse otro momento puntual en el que los animales están comiendo.

Figura 2. Evolución a lo largo del día de la actividad de beber



La Figura 2 permite observar cuando los animales tienen una actividad importante ligada al consumo de agua. Es bien visible que los animales beben mostrando un comportamiento paralelo a la actividad de comer y muestra una buena coincidencia en la aparición de los picos de consumo de agua.

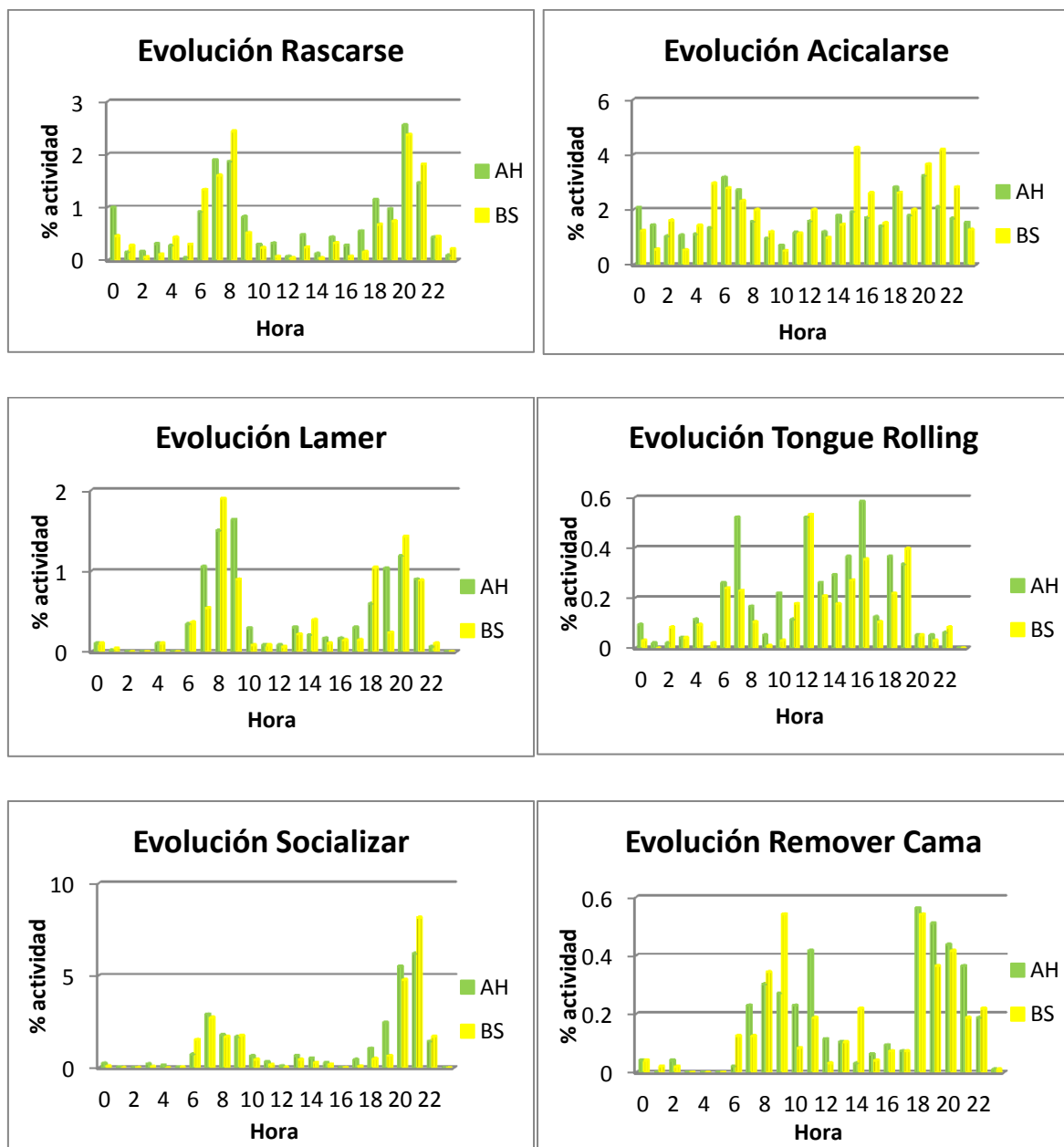
Figura 3. Evolución a lo largo del día de la actividad de rumiar



La Figura 3 por su parte muestra los momentos donde la actividad de rumia es importante. Es evidente que mayoritariamente la actividad de rumia es nocturna, observándose una intensa actividad entre las 22 y las 6 horas. Más tarde, se puede observar un segundo espacio de rumia que se produce entre los dos picos de ingestión, aunque es mucho menos relevante que el primero.

La Figura 4 comprende la evolución de las actividades de comportamiento restantes.

Figura 4. Evolución a lo largo del día de las actividades de rascarse, acicalarse, lamer, “tongue-rolling”, socializar y remover cama.



A excepción de la estereotipia “tonge-rolling” que presenta una mayor dispersión a lo largo del día, el resto de actividades presentan 2 picos bien marcados. El pico de la mañana se produce con antelación al pico de comer en el caso de las actividades de acicalarse, socializar y rascarse, o a la vez que éste, en el caso de lamer y remover la cama. Por su parte el pico de la tarde se produce en todos los casos cerca del segundo pico de comer. Esto parece indicar que es la actividad de comer la que promueve o facilita de una u otra forma las actividades restantes.

2.3 Evolución del comportamiento con la edad

El hecho de haber trabajado con animales entre los 140 y los 440 kg de peso vivo, comprendiendo las dos fases en las que se acostumbra a diferenciar el proceso de engorde, crecimiento y cebo, es interesante comprobar cómo varían con la edad las actividades de comer, beber y rumiar, contabilizando cuántos minutos dedica el animal al día en ejecutar cada una de las actividades, qué coeficiente de variación tiene cada una de ellas, cuál es el rango de ocurrencia y en cuántos animales es necesario medirla para que la observación sea correcta (Tabla 6).

Tabla 6. Actividades de comportamiento realizadas por las terneras en la fase de crecimiento y en la fase de cebo: valores medios expresados en minutos, CV (%), rango y cálculo del número de animales necesarios para medir este comportamiento.

Actividad	Terneras en crecimiento				Terneras en cebo			
	Media, min	CV, %	Rango	n	Media, min	CV, %	Rango	n
Comer	92,1	22,0	60-147	6	128,4	21,1	60-205	7
Beber	17,7	30,7	ago-33	12	31,0	48,4	may-85	30
Rumiar	295,1	24,4	187-455	8	341,8	24,5	160-515	8

En la tabla aparecen las medias independientemente del forraje utilizado. La actividad de comer se incrementa en un 39 % entre las dos fases del proceso de engorde, sin que el coeficiente de variación varíe, aumentando el rango y con la necesidad de utilizar 7 animales en la fase de cebo en lugar de 6, para dar validez a la medida de esta actividad de comportamiento. Las terneras en cebo dedican un 75% más de tiempo en beber que lo hacen las terneras más jóvenes, incrementándose también el coeficiente de variación, el rango y el número de animales necesarios para validar su estudio. Finalmente, con la rumia se observa igualmente un incremento del tiempo dedicado a la actividad, aunque de menor importancia (16%), así como del rango, mientras que no varía el coeficiente de variación ni el número de animales necesarios para estudiar este comportamiento.

Los tiempos dedicados a comer y a beber en las terneras en la fase de crecimiento coincide con los valores encontrados por Iraira et al. (2012) con terneras igualmente Simmental, del mismo peso y edad, y alimentadas con mezclas “unifeed” a base de concentrado y paja (94 minutos). En este último trabajo, el tiempo dedicado a la rumia fue más elevado (376 minutos) que el observado en nuestro experimento, que sin embargo resultó similar al encontrado por Faleiro et al. (2011) con terneras Frisonas en fase de crecimiento pero alimentadas con concentrado y paja sin mezclar (290 minutos), o por Iraira et al. (2013) con terneras Simmental pero en fase de cebo alimentadas igualmente con mezclas unifeed a base de concentrado y paja (294 minutos). Por su parte, el tiempo dedicado a la rumia en la fase de cebo fue similar a los registrados por Robles et al. (2007) y González et al. (2008a) en terneras Frisonas en fase de cebo (303 y 349 minutos, respectivamente) alimentadas con pienso y paja sin mezclar.

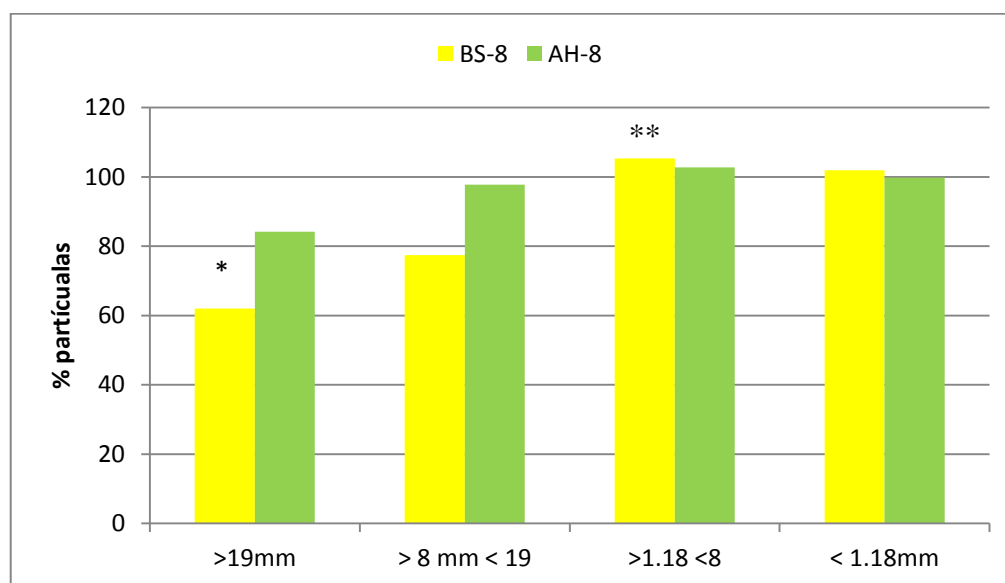
2.4 Comportamiento de selección

El comportamiento de selección por tamaño de partícula en el vacuno que se alimenta con mezclas “unifeed” ha sido descrito en vacas de leche (Leonardi y Armentano, 2003; DeVries et al., 2007; Miller-Cushon et al., 2013 y DeVries et al., 2009), en terneros en crecimiento (Miller-Cushon et al., 2013; Groen et al., 2015; Gordon and DeVries, 2016) y terneras en crecimiento (Greter et al., 2008; DeVries et al., 2014). Sin embargo, la

información existente en el caso de terneros o terneras en cebo intensivo era menor, por lo que los datos obtenidos a partir de los dos primeros experimentos añaden conocimiento a este tema.

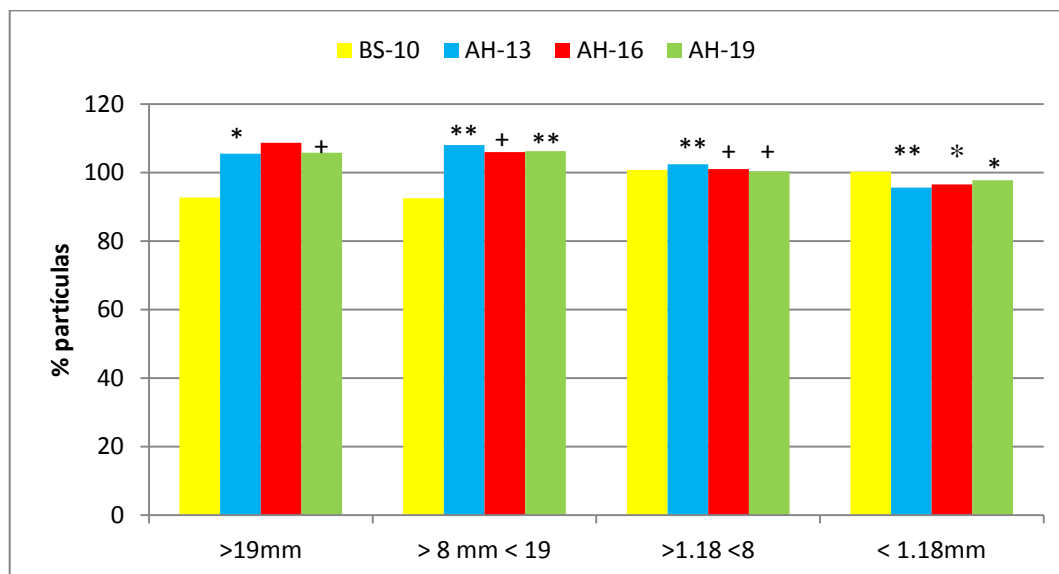
Las figuras siguientes resumen los resultados obtenidos en estos dos experimentos en relación al comportamiento de selección, la Figura 5 en la comparación paja de cereal y heno de alfalfa al mismo nivel de inclusión y combinando los dos períodos de estudio, y la Figura 6 en la comparación del tratamiento paja de cereal al 10% de inclusión con niveles crecientes de inclusión de heno de alfalfa (13, 16 y 19 %).

Figura 5. Comportamiento de selección por tamaño de partícula en terneras en crecimiento con un nivel de inclusión del 8% de paja de cereal (BS-8) o de heno de alfalfa (AH-8)



Las terneras alimentadas con un 8% de paja de cereal y en crecimiento presentaron un comportamiento de selección diferente a las terneras alimentadas con heno de alfalfa. En las primeras, hubo una selección en contra de las partículas de mayor tamaño y a favor de partículas más pequeñas. En cambio en las que recibían heno de alfalfa no pudo concluirse que tuvieran un patrón de selección concreto.

Figura 6. Comportamiento de selección por tamaño de partícula en terneras en la fase de cebo con una mezcla unifeed con un 10% de paja de cereal (BS-10) o con heno de alfalfa a tres niveles de inclusión 13% (AH-13), 16% (AH-16) y 19% (AH-19).



En la fase de cebo, son las terneras alimentadas con heno de alfalfa las que muestran una conducta de selección de partículas a favor de las partículas largas, medias y pequeñas, y en contra de las partículas más finas, mientras que las alimentadas con paja de cereal no presentan selección por ningún tamaño de partícula.

Al relacionar estos resultados con la ingesta de fibra efectiva, la ingesta por tamaño de partícula y el tiempo de rumia observamos que:

- Las terneras en crecimiento presentaban valores de ingesta de fibra físicamente efectiva y de tiempo de rumia similares entre las mezclas, a pesar de que las que recibían paja de cereal mostraban un comportamiento de selección de partículas en contra de las partículas largas y a favor de las pequeñas. Tanto las partículas largas como las pequeñas se encuentran dentro del tamaño mínimo de partícula para estimular la rumia, 1,18mm. Esta sería la razón que explicaría que ambos tratamientos presentaban el mismo tiempo de rumia.

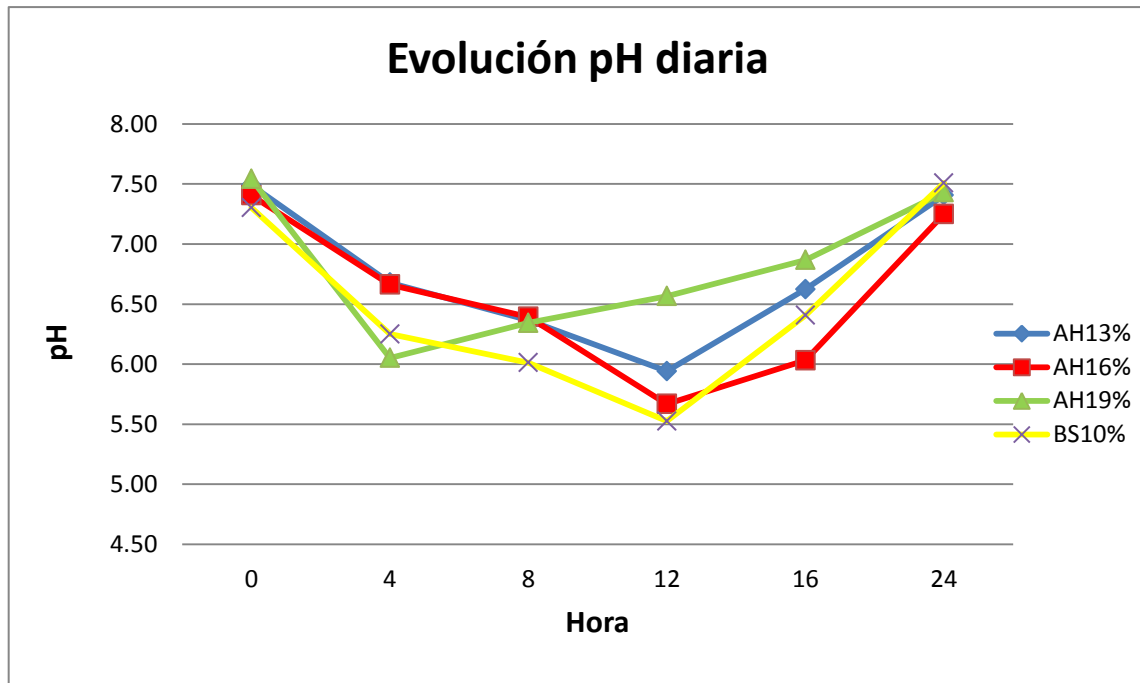
- En la fase final de engorde, el tiempo de rumia se incrementó a medida que aumentaba la inclusión de heno de alfalfa. Efecto que sería explicado por la selección a favor de partículas largas, medias y pequeñas, causando un incremento tanto en la ingesta de fibra físicamente efectiva como en el porcentaje de ingesta según tamaño de partícula, a pesar de que la mezcla con paja de cereal contenía un mayor porcentaje de estas partículas en la dieta.

3. Fermentación ruminal

En el segundo experimento se usaron 8 terneras canuladas y 4 tratamientos experimentales: 10% de paja de cereal (BS10%); 13% de heno de alfalfa (AH13%); 16% de heno de alfalfa (AH16%); y 19% de heno de alfalfa (AH19%). Durante 3 días no consecutivos y después de adaptar durante 2 semanas las terneras a las mezclas unifeed, 2 terneras por tratamiento fueron muestreadas en rumen durante 24 h/día, para poder conocer cómo afectaba el tratamiento al pH ruminal y la concentración total de ácidos grasos volátiles (AGV) y a las proporciones de acético, propiónico y butírico.

La Figura 7 muestra como evolucionó el pH ruminal a lo largo de las 24 horas en las cuatro mezclas “unifeed”. El pH ruminal medio fue más elevado en la mezcla con un 19% de heno de alfalfa que con 10% de paja de cereal y la curva de pH de la primera mezcla estuvo casi siempre (excepto a la hora 4) por encima de la curva de la mezcla con paja. Además el número de horas que el pH estuvo por debajo de los niveles considerados como umbrales para entrar en acidosis subclínica (5,8 o 5,6, según autores) fue superior en los animales alimentados con la mezcla con paja de cereal que los que recibían heno de alfalfa a un nivel de inclusión del 19%.

Figura 7. Evolución de las curvas de pH ruminal registradas con las mezclas con un 10% de paja de cereal (BS10%) o con niveles crecientes de heno de alfalfa (AH13%, AH16% y AH19%).



Este patrón de pH ruminal puede relacionarse con el tiempo dedicado a la rumia que fue superior en los animales que recibían la mezcla con heno de alfalfa con un nivel de inclusión del 19% que los que recibieron paja de cereal (372 minutos vs. 330 minutos). Estos resultados son acordes a los que han permitido afirmar que la fibra físicamente efectiva contribuye a mantener el equilibrio en el rumen, evitando la caída del pH ruminal y el riesgo de padecer acidosis ruminal, ya que aquella estimula la masticación y el correspondiente efecto tamponador de la saliva generada por la misma (Yang et al., 2006).

En este sentido quisimos comprobar que factor era el que explicaba mayor porcentaje de variación del pH ruminal del animal. Para ello se estudió el coeficiente de determinación existente entre el pH ruminal medio y la ingestión de materia seca, la ingestión de FND y la ingestión de FND físicamente efectiva (Tabla 7).

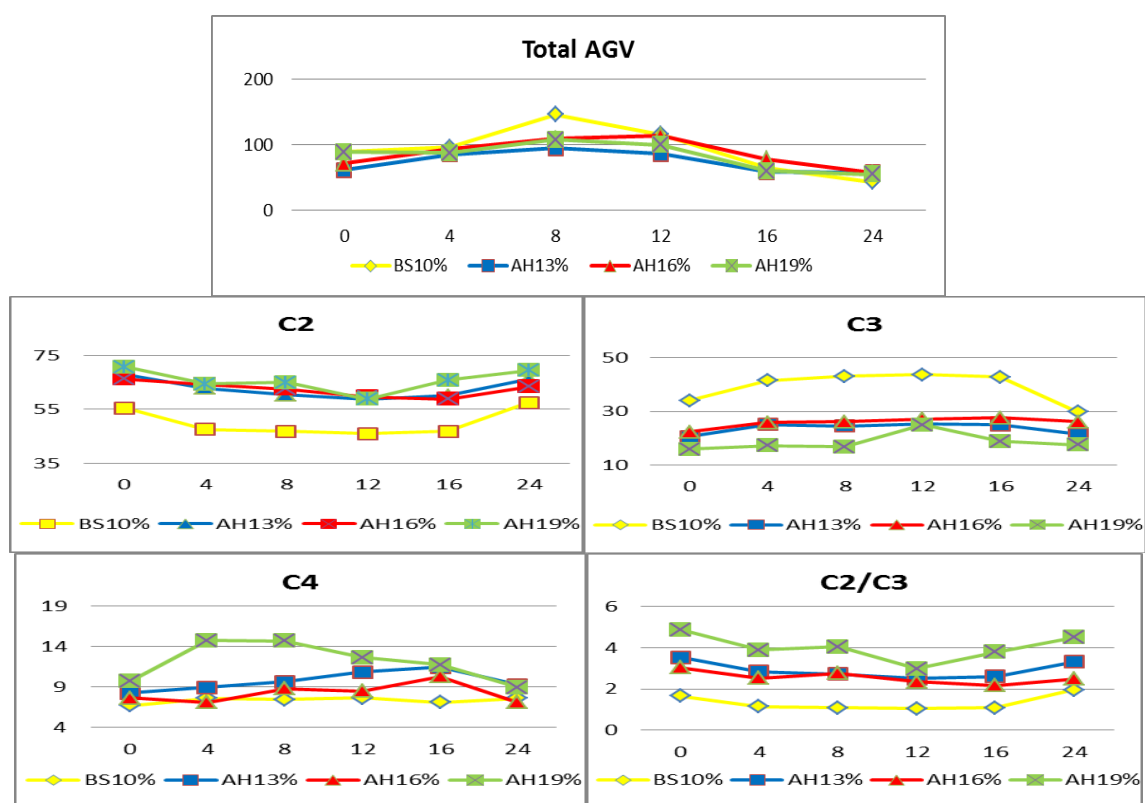
Tabla 7. Coeficiente de determinación, P-valor y desviación estándar residual obtenida con la regresión lineal entre el pH ruminal medio y las ingestiones de MS, FND y fibra físicamente efectiva (peFND).

	Ingestión MS	Ingestión FND	Ingestión peFND
R ²	0,14	0,43	0,69
P-valor	0,096	0,030	0,008
RSD	0,230	0,238	0,246

De los tres factores estudiados el que explicó mayor porcentaje de variación del pH ruminal medio fue la ingestión de fibra físicamente efectiva (69%).

Las muestras ruminales se utilizaron igualmente para estudiar la concentración molar de ácidos grasos volátiles, así como la proporción de los ácidos más abundantes (acético, propiónico y butírico). La Figura 8 muestra la evolución a lo largo de las 24 h de cada uno de estos compuestos.

Figura 8 Evolución a lo largo del día de la concentración molar de ácidos grasos volátiles (AGV), de las proporciones de acético (C2), propiónico (C3) y butírico, y de la relación acético/propiónico (C2/C3).



A pesar de que la concentración total de ácidos grasos volátiles fue similar para las 4 mezclas unifeed, el perfil de fermentación fue diferente. Las terneras que consumieron la mezcla con heno de alfalfa presentaron los niveles más elevados de C2 y una mayor relación C2/C3 que las que consumieron la mezcla con paja de cereal. Por el contrario, éstas fueron las que registraron una mayor proporción de C3. A su vez, la mayor presencia de C4 se observó en las terneras que consumieron la mezcla con un 19% de alfalfa. Los resultados de ingestión de materia seca, de fibra neutro detergente y de fibra físicamente efectiva concuerdan con los obtenidos en la proporción de los ácidos grasos volátiles, ya que un aumento en la ingesta de fibra disminuye la producción de propionato (Galyean and Hubert, 2014). En concordancia con el mayor contenido en forraje y fibra en la mezcla con un 19% de heno de alfalfa, el perfil de fermentación ruminal de las terneras alimentadas con esta mezcla (66/19/12 para C2, C3 y C4, respectivamente) reflejó este mayor contenido en forraje (France and Dijkstra, 2005).

4. Aproximación económica

Con la finalidad de conocer qué implicaciones económicas tendría el uso de una mezcla “unifeed” con un mayor contenido en forraje que una mezcla clásica con un 10% de paja de cereal, a continuación se muestran los resultados de realizar una comparación entre realizar un engorde de 200 terneras con mezclas “unifeed” con heno de alfalfa al 19% o paja de cebada al 10%, como fuente de forraje. La Tabla 8, muestra las dietas utilizadas en cada caso.

Tabla 8. Ingredientes de las raciones

Ingredientes	Dietas	
	BS10%	AH19%
	% MS	
Paja de cebada	10	-
Heno de alfalfa	-	19
Maíz,	35,0	41,5
Cebada	43,0	31,5
Harina de soja, 44%	9,0	5,0
Sal	0,7	0,7
Bicarbonato sódico	1,0	1,0
Carbonato cálcico	0,5	0,5
Fosfato bicálcico	0,4	0,4
Premix	0,4	0,4

Cálculo del margen económico

Para realizar los cálculos sobre el margen económico, se realizó una simulación de los gastos y beneficios que pueden darse en un engorde de 200 terneras Simmental para cada una de las dietas anteriores.

- Costes de alimentación

Los precios de las materias primas y forrajes para la formulación de las raciones varían cada año. La Tabla 9 muestra los valores del mes de Mayo de los últimos 4 años, tanto para los cereales y la soja (MAPAMA), como para los forrajes (Lonja de Vic).

Tabla 9. Precio de los ingredientes de los meses de Mayo de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

Ingredientes	Precio €/tn			
	Mayo-2015	Mayo-2016	Mayo-2017	Mayo-2018
Paja cebada	55,00	84,14	45,08	50,00
Heno alfalfa	138,00	132,22	132,22	162,00
Maíz	169,00	175,00	178,00	185,00
Cebada	177,00	165,00	163,00	181,00
Soja 44%	351,00	425,00	297,00	384,00
Sal	64,00	64,00	64,00	64,00
Bicarbonato sódico	255,00	255,00	255,00	255,00
Carbonato cálcico	26,00	26,00	26,00	26,00
Fósforo bicálcico	450,00	450,00	450,00	450,00
Premix	1305	1305	1305	1305

Además las Figuras 9 y 10 muestran la evolución entre el 2015 y el 2018 del precio del heno de alfalfa y de la paja de cebada (Figura 9), y del precio para la ración completa en función del forraje (Figura 10). Teniendo en cuenta únicamente estos datos, podemos observar como el año 2015 y 2016 la ración de heno de alfalfa resulta 2,69 y 7,89 €/tn más económica que la de paja de cebada, mientras que durante el año 2017 y 2018

ocurre el contrario, siendo la ración de heno de alfalfa al 19%, 1,56 y 1,63 €/tn respectivamente más cara que la de paja de cebada al 10%.

Figura 9. Evolución del precio de los forrajes de los meses de Mayo de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

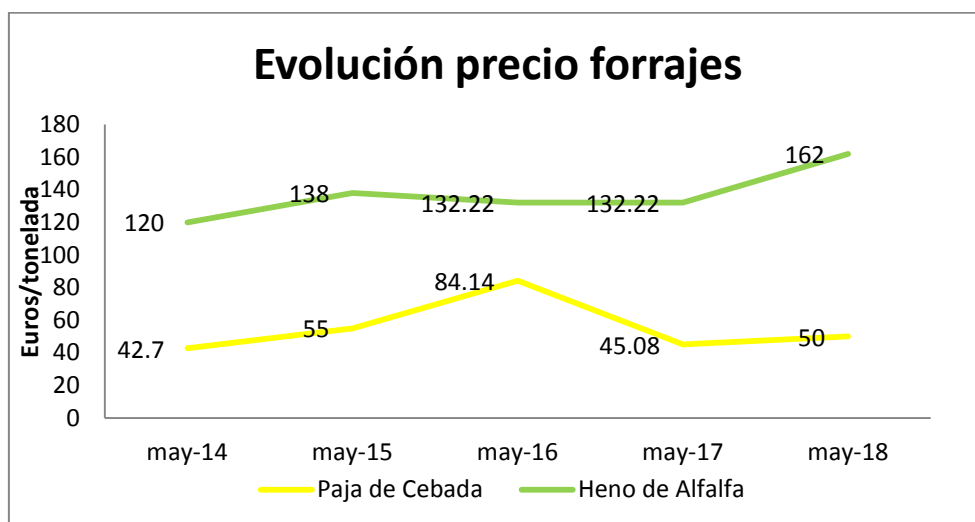
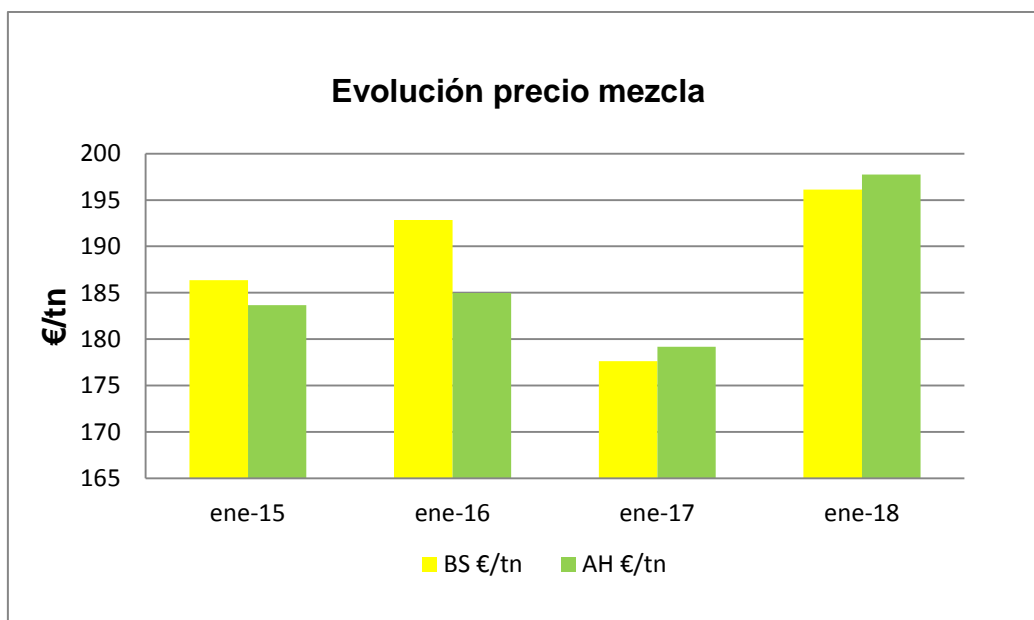


Figura 10. Evolución del precio de las mezclas “unifeed” de los meses de Mayo de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.



Los valores anteriores son genéricos y no tienen en cuenta el consumo de las terneras. Para obtener unos datos más precisos según el consumo de las terneras para cada tratamiento se utilizaron los valores de GMD y IC obtenidos durante los experimentos realizados.

Las terneras alimentadas con heno de alfalfa presentaron una GMD de 1,57 kg/d y un IC de 4,28, mientras que las alimentadas con la paja de cebada tuvieron un 1,45 kg/d de GMD y un IC de 4,58. Al realizar un engorde de 100 a 450 kg PV, con una duración de 223 días para las terneras que consumían la mezcla AH19% y de 241d para las que la consumían BS10%, el consumo total fue de 1498 kg y 1603 kg de MS total para las mezclas de heno de alfalfa y de paja de cebada, respectivamente. Añadiendo un 15% para asegurar una alimentación *ad libitum* los resultados obtenidos fueron:

- ✓ Las terneras alimentadas con heno de alfalfa al 19 % consumieron un total de 1.722,7 kg, de los cuales 1394,95 kg fueron de concentrado y 327,75 kg de heno de alfalfa.
- ✓ Las terneras alimentadas con paja de cebada al 10% consumieron un total de 1843.45 kg, de los cuales 1.659,45 kg fueron de concentrado y 184 kg de paja de cebada.

Al multiplicar los diferentes consumos, tanto de concentrado como de forraje, con sus precios de Mayo de 2018, se obtuvo un coste económico de 311,72 € para las terneras alimentadas con BS10% y de 237,66 € para las terneras alimentadas con AH19%. Todo ello indica que la ración con un 19 % de heno de alfalfa es más barata que la ración con un 10 % de paja de cebada: 74,06€ por animal y 14.811,5€ por el engorde de 200 terneras.

- Ingresos

Los ingresos en un engorde de terneras vienen dados básicamente por la venta de los terneros al final del engorde. Para realizar estos cálculos se utilizaron los datos obtenidos en el último experimento, los cuales nos indicaron que no hubo diferencias respecto a la clase, categoría, conformidad o peso canal en el matadero para las dos mezclas utilizadas y los datos del precio de canal de 2017 (boletín MERCOLLEIDA). Los datos indican que se

obtuvieron terneras de clase, categoría y conformidad ER3 y un peso medio de 213,31 kg/canal. El precio de la ternera de 180 a 240 kg/canal en 2017 fue de 4,42 €/kg canal.

Con estos datos se realizó el cálculo de la venta de las terneras, obteniendo unos ingresos de 942,83€/animal y de 188.566,04€ por el engorde de 200 terneras, independientemente de la ración escogida.

- Margen económico total

En las Tablas 10 y 11 se puede observar los beneficios totales que se obtendrían en un engorde de 1 (Tabla 10) o de 200 terneras (Tabla 11) de los 100 a los 400 kg de peso vivo. Para estos cálculos se consideraron costes fijos, costes variables e ingresos.

- ✓ Costes fijo: dentro de los costes fijos se incluyó la amortización e intereses del capital, los cuales representan un 1% y un 0,6% de los costes totales.
- ✓ Costes variables:
 - Gastos de alimentación (calculados anteriormente) que representan entre un 35-40% de los costes totales.
 - Compra de las terneras (450€/animal es el precio que implicó la compra de las terneras en los experimentos incluidos en la tesis) que representa entre un 50-55% de los costes totales
 - La mano de obra que representa entre un 6-7% de los costes totales. Un trabajador a media jornada puede atender hasta 500 terneros, 11.152€/año (salario + seguridad social + pagas) con un total de 15 pagas.
 - Costes sanitarios (18€/animal y engorde) que representa el 2% de los costes totales.
 - Mortalidad de 1%, equivale a 2 terneros por engorde, coste total de unos 1.000€, que representa aproximadamente un 0,6% de los gastos totales.
 - Costes varios (electricidad, transporte, MER, impuestos) que equivalen aproximadamente a un 2% de los costes totales.

- Costes financieros, si los hubiera, representarían un 0,65% aproximadamente de los costes totales.
- ✓ Ingresos:
 - Venta del ternero (calculados anteriormente) que representa aproximadamente el 98% de los ingresos totales.
 - Subvención: aproximadamente unos 20€/ternero y engorde que equivale aproximadamente a un 0,4% de los ingresos.

Con estos datos se puede concluir que utilizar la mezcla AH19% en el engorde de terneras Simmental resulta con 14.811,51€ de más, con un total de 200 terneras, o de 74,06€ por animal, que la ración con un 10% de paja de cebada.

Cabe destacar que en estos cálculos habría que restarle la diferencia de los costes debido al menor tiempo de cebo de las terneras alimentadas con heno de alfalfa al 19% (diferencia de 18días) y añadir los ingresos obtenidos de la venta del estiércol.

Tabla 10. Cálculo del beneficio por ternera

	BS10%	AH19%
COSTES FIJOS	€	€
AMORTIZACIÓN	7,75	7,75
INTERESES DEL CAPITAL	5,22	5,22
COSTES VARIABLES		
COMPRA DEL TERNERO	450,00	450,00
ALIMENTACION	311,72	237,66
- CONCENTRADO	310,80	227,57
- FORRAJE	0,92	10,09
MANO DE OBRA	55,76	55,76
COSTES SANITARIOS	18,00	18,00
MORTALIDAD	5,00	5,00
COSTES VARIOS (electricidad, transporte, MER, impuestos)	16,70	16,70
COSTES FINANCIEROS	5,37	5,37
INGRESOS		
VENTA DEL TERNERO	942,83	942,83
SUBVENCION	20,00	20,00
BENEFICIOS	87,31	161,37
		-74,06€

Tabla 11. Cálculo del beneficio por 200 terneras.

	BS10%	AH19%
COSTES FIJOS	€	€
AMORTIZACIÓN	1.550,99	1.550,99
INTERESES DEL CAPITAL	1.043,94	1.043,94
COSTES VARIABLES		
COMPRA DEL TERNERO	90.000,00	90.000,00
ALIMENTACION	62.343,01	47.531,50
- CONCENTRADO	62.159,01	45.513,87
- FORRAJE	184,00	2.017,63
MANO DE OBRA	11.152,00	11.152,00
COSTES SANITARIOS	3.600,00	3.600,00
MORTALIDAD	1.000,00	1.000,00
COSTES VARIOS (electricidad, transporte, MER, impuestos)	3.340,60	3.340,60
COSTES FINANCIEROS	1.073,76	1.073,76
INGRESOS		
VENTA DEL TERNERO	188.566,04	188.566,04
SUBVENCION	4.000,00	4.000,00
BENEFICIOS	17.461,74	32.273,25
		-14.811,51€

Bibliografía

- 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 Animal Science* 78:1667-1676. doi: 10.2527/2000.7861667x
- DeVries TJ, Beauchemin KA and M. A. G. von Keyserlingk. 2007. Mezclary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 90, 5572-5579. doi: 10.3168/jds.2007-0370
- DeVries, T. J., and M. A. G. von Keyserlingk. 2009. Competition for feed affects the feeding behavior of growing dairy heifers. *Journal Dairy Science*. 92:3922-3929. doi: 10.3168/jds.2008-1934. doi: 10.3168/jds.2008-1934
- DeVries, T. J., T. Schwaiger, K. A. Beauchemin, and G. B. Penner. 2014a. Impact of severity of ruminal acidosis on feed-sorting behaviour in beef cattle. *Anim. Prod.* 54:1238–1242. doi: 10.1071/AN14227
- Faleiro AG, González LA, Blanch M, Cavini S, Castells L, Ruíz de la Torre JL, Manteca X, Calsamiglia S, Ferret A, 2011. Performance, ruminal changes, behaviour and welfare of growing heifers fed a concentrate diet with or without barley straw. *Animal* 5: 294-303. doi: 10.1017/S1751731110001904
- France, J., Dijkstra, J. Volatile fatty acid production. *Quant. Asp. Rumin. Dig. Metab.* 2005, 2, 157–175.
- Galyean, M. L., and M. E. Hubbert. 2014. Traditional and alternative sources of fiber-roughage values, effectiveness, and concentrations in starting and finishing diets. In: *Proc. Plains Nutrition Counc.* San Antonio, TX. p. 74–98. doi: 10.15232/pas.2014-01329
- González, L.A., Ferret, A., Manteca, X., Calsamiglia, S. 2008a. Increasing sodium bicarbonate level in high-concentrate diets for heifers. II. Effects on chewing and feeding behaviors. *Animal* 2:13-722. doi: 10.1017/S1751731108001663

- González, L.A., Ferret, A., Manteca, X., Ruíz de la Torre, J.L., Calsamiglia, S., Devant, M., y Bach, A. 2008. Performance, behavior, and welfare of Friesian heifers housed in pens with two, four, and eight individual per concentrate feeding place. *Journal Animal Science* 86: 1446-1458. doi: 10.2527/jas.2007-0675
- Gordon, L. J., and T. J. DeVries. 2016. Technical note: Impact of a molasses-based liquid feed supplement on the feed sorting behavior and growth of grain-fed veal calves. *Journal Animal Science*. 94:3519-3526. doi:10.2527/jas.2015-0195
- Greter, A. M., T. J. DeVries, and M. A. G. von Keyserlingk. 2008. Nutrient intake and feeding behavior of growing dairy heifers: Effects of concentrate dilution. *Journal Dairy Science*. 91:2786-2795. doi:10.3168/jds.2008-1052
- Groen M. J., M. A. Steele, and T.J. DeVries. 2015. Short communication: Effect of straw inclusion rate in a dry total mixed ration on the behavior of weaned dairy calves. *Journal Dairy Science*. 98:2693-2700. doi: 10.3168/jds.2014-8978
- Hales, K. E., H. C. Freetly, S. D. Shackelford, and D. A. King. 2013. Effects of roughage concentration in dry-rolled corn-based diets containing wet distillers grains with solubles on performance and carcass characteristics of finishing beef steers. *Journal Dairy Science*. 91:3315–3321. doi:10.2527/jas.2012-5942
- Iraira, S. P., Ruíz de la Torre, J.L., Rodríguez-Prado, M., Manteca, X., Calsamiglia, S., Ferret 2013. Feed intake, ruminal fermentation, and animal behavior of beef heifers fed forage free diets containing nonforage fiber sources. *Journal Animal Science*. 91:3827-3835. doi: 10.2527/jas.2012-5803
- Iraira, S. P., Ruíz de la Torre, J.L., Rodríguez-Prado, M., Manteca, X., Calsamiglia, S., Ferret, A. 2012. Effect of feeding method on intake and behaviour of individually reared beef heifers fed a concentrate diet from 115 to 185 kg of body weight. *Animal* 6:9 1483-1490. doi: 10.1017/S1751731112000390
- Leonardi, C., and L. E. Armentano. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *Journal Dairy Science*. 86:557-564. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73634-0. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73634-0

- Miller-Cushon, E. K., R. Bergeron, K. E. Leslie, G. J. Mason, and T. J. DeVries. 2013. Effect of early exposure to different feed presentations on feed sorting of dairy calves. *Journal Dairy Science*. 96:4624-4633. doi: 10.3168/jds.2013-6670
- Robles, V., González, L.A., Ferret, A., Manteca, X., Calsamiglia, S. 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation and feeding behaviors in heifers fed high-concentrate diets. *Journal Animal Science* 85:2538-2547. doi: 10.2527/jas.2006-739
- Swanson, K. C., Z. E. Carlson; M. C. Ruch, T. C. Gilbery, S. R. Underdahl, F. E. Keomanivong, M. L. Bauer, and A. Islas. 2017. Influence of forage source and forage inclusion level on growth performance, feeding behavior, and carcass characteristics in finishing steers. *Journal Animal Science*. 97:1325-1334. doi:10.2527/jas2016.1157
- Yang, W.Z., and K. A. Beauchemin. 2006. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *Journal Dairy Science*. 89:217-228. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72086-0.

Capítulo VI.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos al realizar los tres experimentos utilizando mezclas “unifeed” se puede concluir:

A) En relación a la metodología del estudio del comportamiento:

1. La selección del tiempo de muestreo del comportamiento animal, como alternativa al registro continuo, debe basarse en el tipo de actividad a analizar. En terneras en crecimiento, el muestreo cada 5 minutos produce una estima adecuada para todas las actividades analizadas excepto para beber, socializar y remover la cama, donde debería considerarse un muestreo cada 2 minutos. Para la actividad de rumia el muestreo cada 20 minutos sería adecuado y de 30 minutos, para la ausencia de actividad.

B) En relación al uso de heno y paja al mismo nivel de inclusión en terneras en la fase de crecimiento:

2. El efecto sobre la ingestión depende de los retos alimenticios a los que se enfrenta el animal. Cuando las terneras tuvieron que adaptarse tanto al método de alimentación como a una nueva fuente de forraje, se redujo la ingestión de materia seca en las que consumieron alfalfa, mientras que cuando solamente tuvieron que adaptarse a la nueva fuente de forraje, la ingestión fue igual en ambas mezclas.

3. La oferta de mezclas “unifeed” causó una selección a favor de partículas pequeñas en las terneras que consumieron heno de alfalfa, cuando éstas se estaban adaptando tanto al método de alimentación como a la nueva fuente de forraje, mientras que en las terneras que consumieron paja de cebada causó una selección en contra de las partículas largas y a favor de las partículas pequeñas durante todo el experimento. Como consecuencia, las terneras que consumieron paja de cebada estuvieron más tiempo en el comedero, alargando así la duración de cada comida.

4. La selección en contra de las partículas más largas y a favor de las partículas más pequeñas en las terneras que consumieron paja de cebada alteró la proporción esperada de forraje y concentrado en la mezcla ingerida por estos animales, por lo que se puede aumentar el riesgo de padecer una acidosis ruminal.

C) En relación al uso de niveles crecientes de heno en terneras en la fase de cebo:

5. Aumentar la proporción de heno de alfalfa, del 13% al 19% de inclusión, aumentó linealmente la ingestión de materia seca total, la ingestión de proteína, el consumo de agua y el consumo de las partículas largas, medias y las más finas. La ingestión de fibra y de fibra físicamente efectiva fue más elevada en las terneras con todas las mezclas de alfalfa, en comparación a las que recibían paja de cebada al 10% de inclusión. Además, el tiempo de rumia se incrementó linealmente con el aumento de alfalfa en la mezcla.

D) En relación al hecho de dar menos (13% de heno), igual (16% de heno) o más (19% de heno) fibra forrajera que con paja de cebada (10% de paja):

6. La ingestión de materia seca sólo fue superior cuando se usó igual o más fibra forrajera en forma de heno, mientras que la ingestión de fibra y de fibra físicamente efectiva fue superior en todos los casos. Las terneras alimentadas con todas las mezclas a base de heno mostraron un comportamiento de selección en contra de las partículas más finas mientras que seleccionaron a favor de las partículas restantes. Sin embargo, a pesar de lo dicho, sólo las terneras que consumieron la mezcla con más fibra forrajera a base de heno que a base de paja mostraron una actividad de rumia más prolongada.

E) En relación al uso de un 19% de heno frente a un 10% de paja en terneras en la fase de cebo y en condiciones de competencia:

7. El heno de alfalfa incorporado a una mezcla “unifeed” y suministrado en condiciones de competencia, incrementó el consumo de alimentos y la ganancia media diaria, sin afectar la eficiencia alimenticia.

8. El uso de heno de alfalfa no causó cambios relevantes en la calidad de la canal y de la carne a excepción de la proporción y contenido de algunos ácidos grasos del músculo *Longissimus thoracis*. A pesar de estas diferencias, las características de la carne evaluadas por panelistas especializados no evidenciaron diferencias entre la carne proporcionada por estas terneras.

