



**INCORPORACION DE FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA EN
RACIONES MIXTAS COMPLETAS PARA TERNEROS EN CEBO
INTENSIVO**

**MEMORIA PRESENTADA POR SERGIO IRAIRA HIGUERAS
DIRIGIDA POR 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, SEPTIEMBRE 2013

ALFRED FERRET QUESADA, Catedrático del Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos de la Facultad de Veterinaria de la Universitat Autònoma de Barcelona

Certifica:

Que la memoria titulada “ **Incorporación de fuentes de fibra no forrajera en raciones mixtas completas para terneros en cebo intensivo**”, presentada por Sergio Iraira Higuera para optar al grado de Doctor por la Universitat Autònoma de Barcelona, ha sido realizada bajo la dirección del Doctor Alfred Ferret Quesada y considerando que ha acabado, autoriza la presentación para que sea juzgada por la comisión correspondiente

Y para que consten los efectos que corresponden, firma la presente en Bellaterra, 19 de Septiembre del 2013

Alfred Ferret Quesada
Director

FINANCIAMIENTO TESIS

Esta Tesis Doctoral ha sido realizada gracias al financiamiento de:

- Programa de Formación del Sistema de los INIA de Iberoamérica, patrocinado por INIA de España.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Chile.
- Proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad (AGL2008 – 03729)

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a todas las personas que me apoyaron en mi etapa de doctorando, comenzando con mi director de tesis Alfred Ferret quien me dio la oportunidad de llevar a cabo este trabajo e iniciarme en el área del comportamiento animal.

A José Luis de la Torre, Xavi Manteca, Blas Sanchez, Carmen Martinez y personal de la Granja de la Universidad Autónoma de Barcelona, quienes siempre tuvieron la mejor disposición a apoyarme en todo el trabajo asociado al desarrollo de esta tesis.

También deseo agradecer a Adriana Siurana, Román Jiménez, Sara Cavini, Karina Viles y María Rodríguez, con quienes compartí muchos momentos no solo ligados al estudio sino también de la vida diaria que me permitió de una u otra manera conocer y enriquecer mi visión del mundo más allá de mis fronteras chilenas.

No puedo dejar de mencionar a Julio Kalazich, colega de INIA Remehue que me dio la oportunidad de cumplir este anhelo varias veces postgrado.

A Danitza, decirle que con esto llego al final de este trayecto, no del viaje. Muchas gracias por su apoyo, paciencia y colaboración.

Finalmente, sería muy ingrato de mi parte no mencionar ni agradecer a mis padres, Catalina y Alfredo, quienes me enseñaron que nada es imposible de lograr si uno lo anhela con ansias.

PUBLICACIONES Y ABSTRACTS

- Iraira, S. P., J.L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, X. Manteca, S. Calsamiglia, A. Ferret. 2011. Intake and feeding behavior in growing heifers fed a high concentrate diet and offered a total mixed ration or dietary components separately. *J. Anim. Sci.* 89, E-Suppl. 1:6-7.
- Iraira, S. P., J. L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, X. Manteca, S. Calsamiglia, A. Ferret. 2011. Efecto del método de alimentación sobre el comportamiento de terneras Simmental al inicio del cebo. *ITEA Vol. Extra Tomo 1*:138-140.
- Iraira, S. P., J. L. Ruiz de la Torre, M. Rodriguez-Prado, X. Manteca, S. Calsamiglia and A. Ferret. 2012. Effect of feeding method on intake and behaviour of individually reared beef heifers fed a concentrate diet from 115 to 185 kg of boby weight. *Animal*, 6:9, pp 1483-1490.
- Iraira, S. P., J. L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, X. Manteca, S. Calsamiglia, A. Ferret. 2012. Whole cottonseed can promote as much rumination activity as barley straw when incorporated in TMR fed beef heifers at finishing period. *J. Anim. Sci.* 90, Suppl. 3:517.
- Iraira, S. P., J. L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, X. Manteca, S. Calsamiglia, A. Ferret. 2012. Ruminal fermentation and behavior in Simmental heifers fed TMR with non-forage fiber sources in feedlots. . *J. Anim. Sci.* 90, Suppl. 3:502.
- Iraira, S. P., J. L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, S. Calsamiglia, X. Manteca, and A. Ferret. 2013. Feed intake, ruminal fermentation, and animal behavior of beef heifers fed forage free diets containing non-forage fiber sources. *J. Anim. Sci.* 91: 3827-3835.
- Iraira, S. P., J. L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, M. Pérez, X. Manteca, S. Calsamiglia, A. Ferret. 2013. Whole cottonseed can replace barley straw in TMR fed beef heifers at finishing. *J. Anim. Sci.* 91, Suppl 2:25.
- Iraira, S. P., J. L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, S. Calsamiglia, X. Manteca, A. Ferret. 2013. Pienso y paja en mezclas unifeed para el cebo de terneros. *Albóitar* 168: 48-50.

RESUMEN.

El alza de precios de los ingredientes de los piensos ha generado condiciones críticas para los sistemas de cebo de terneros en España, obligando a los ganaderos que utilizan dietas de alta concentración energética, con pienso y paja entera de cereal, buscar alternativas que reduzcan los costes de producción. Para aportar información al respecto, se realizaron tres experimentos con el objetivo de proponer alternativas al sistema tradicional de suministro de fibra forrajera en el cebo de terneros incluyendo fuentes de fibra no forrajera que permitan alcanzar una buena respuesta productiva y un adecuado bienestar de los animales.

El objetivo del primer experimento fue evaluar la incorporación de paja de cereal en dietas para cebo a través de dietas mixtas completas y estudiar su efecto sobre la ingestión, resultados productivos y comportamiento. Bajo un diseño crossover, se utilizaron 8 terneras Simmental ($118 \pm 3,8$ kg PV) que recibieron una dieta *ad libitum* de pienso y paja suministrados por separado (CH) o en dietas mixtas completas (TMR). La ingesta de pienso y materia seca total fue mayor en CH ($P=0,01$ y $P=0,05$), la ganancia de peso tendió a ser más elevada en CH ($1,71$ v. $1,62$, $P=0,09$), mientras que la ingesta de paja fue superior en TMR ($0,3$ v. $0,2$, $P=0,001$). Sin embargo, la relación G:F fue similar en ambos tratamientos ($P=0,99$). No se afectó el tiempo dedicado a la ingesta, pero el tiempo de rumia fue mayor en TMR que CH ($375,7$ v. $286,9$, $P=0,007$).

El segundo experimento se diseñó para determinar el efecto de la inclusión de fuentes de fibra no forrajera en dietas mixtas completas sobre la ingestión, fermentación ruminal y comportamiento de alimentación de hembras en cebo. Ocho terneras Simmental ($313 \pm 13,2$ kg PV), fueron asignadas aleatoriamente a cuatro tratamientos en un doble cuadrado latino. Las dietas, ofrecidas *ad libitum*, consistieron en pienso mezclado con paja de cebada (BS), cascarilla de soja (SH), pulpa de remolacha (BP) y semilla de algodón (WCS), con 10, 17, 17 y 16 % de inclusión, respectivamente. La mayor ingesta de materia seca se registró con WCS (7,92 kg), siendo similar en las otras dietas (media 7,34 kg). El pH medio fue 6,38; 5,87; 6,26 y 6,20 en BS, SH, BP y WCS, respectivamente. La relación acetato:propionato fue mayor en BS y BP. Las actividades de rumia y de masticación fueron más prolongadas en BS y WCS.

El tercer experimento se diseñó para comparar los resultados productivos, de comportamiento y de calidad de canal y de carne de terneras que recibieron una dieta de cebo formulada con semilla de algodón o paja de cereal. Veintisiete terneras Simmental ($265,1 \pm 20,4$ kg) distribuidas en tres tratamientos, en un diseño de bloques distribuidos completamente al azar, recibieron: a) pienso y paja ofrecida por separado (CH-BS) o b) mezclada en dieta mixta completa (TMR-BS), y c) pienso con semilla de algodón en una dieta mixta completa (TMR-WCS). Todas las dietas se ofrecieron *ad libitum*. El tratamiento no tuvo efecto sobre ingesta de materia seca, ganancia de peso, relación F:G (media 8,1 kd/d, 1,36 kg/d y 0,176, respectivamente), calidad de la canal y de la carne. El tiempo de ingesta fue mayor en CH-BS ($P = 0,001$), mientras que la rumia y la masticación fue mayor en TMR-BS ($P = 0,001$). Si hubo diferencias en la composición de algunos ácidos grasos del músculo *Longissimus thoracis*. WCS-TMR fue superior en C17:0 ($P = 0,005$), C18:1 trans-10, trans-11, trans-12 ($P = 0,012$) y en la relación n-6:n-3 ($P = 0,001$), y más bajo en C18:1 cis-9 ($P = 0,002$).

ABSTRACT

The increase in the price of concentrate ingredients has generated critical conditions in the Spanish intensive beef production system. Farmers using high energy diets, based on concentrates and cereal straw, must search for alternatives to reduce production costs. To contribute to this aim, three experiments were carried out to propose an alternative to the traditional production system by means of the inclusion of non forage fiber sources (NFFS) to achieve good performance and animal welfare.

The objective of the first experiment was to evaluate the inclusion of cereal straw in total mixed ration (TMR) for beef heifer diets and to study the effects on intake, performance and animal behavior. Eight Simmental heifers (118 ± 3.8 kg PV) fed *ad libitum* with concentrate and straw offered as free choice (CH) or as TMR, were used in a crossover design. Concentrate intake and total dry matter intake were higher ($P = 0.01$ and $P = 0.05$) in CH than in TMR, average daily gain (ADG) tended to be higher in CH (1.71 v. 1.62, $P = 0.09$), but straw intake was higher in TMR than in CH (0.3 v. 0.2, $P = 0.001$). However, G:F ratio was unaltered by treatment. Time spent eating was not affected by diet, but time spent ruminating was higher in TMR than in CH (375.7 v. 286.9, $P = 0.007$).

A second experiment was designed to determine the effect of NFFS inclusion fed as TMR on intake, ruminal fermentation and feeding behavior of beef heifers. Eight Simmental heifers (313 ± 13.2 kg PV) were assigned at random to a repeated Latin Square design. Diets, offered *ad libitum*, were based on a concentrate mixed with barley straw (BS), soybean hulls (SH), beet pulp (BP) or whole cotton seeds (WCS). The level of inclusion of each fiber source was 10, 17, 17 and 16 %, respectively. The highest intake was recorded in WCS diet (7.92 kg), the intake being similar in the other three treatments (average 7.34 kg). Mean ruminal pH was 6.38, 5.87, 6.26 and 6.20 for BS, SH, BP and WCS, respectively. Acetate to propionate ratio was higher in BS and BP diets. Rumination and total chewing activities were more prolonged in BS and WCS than in SH and BP diets.

The last experiment was designed to compare animal performance, behavior, and carcass and meat quality of heifers fed a diet based on WCS or barley straw (BS). Twenty seven Simmental heifers (265.1 ± 20.4 kg) were assigned to three

treatments in a randomized complete block design. Treatments consisted of a) concentrate and BS, both offered as free-choice in separate feedbunks (CH-BS); b) concentrate and BS offered as TMR (TMR-BS); and c) TMR in which 16% of WCS was used as an alternative fiber source (TMR-WCS). Intake of dry matter, ADG, G:F ratio (on average 8.1 kg/d, 1.36 kg/d and 0.176, respectively), carcass and meat quality were not affected by treatment. Time spent eating was longer in CH-BS diet ($P = 0.001$), but time spent ruminating and chewing were longer in TMR-BS ($P = 0.001$). There were differences in the fatty acids composition of the *Longissimus thoracis* muscle. The percentage of C17:0 ($P = 0.005$), C18:1 trans-10, trans-11, trans-12 ($P = 0.012$) and n-6:n-3 ratio ($P = 0.001$) was greater in WCS-TMR than in BS diets, but lesser in the case of C18:1 cis-9 ($P = 0.002$).

LISTA DE ABREVIACIONES

ADG	Ganancia de peso diaria
BP	Pulpa de remolacha
BS	Paja de cebada
DDGS	Granos solubles derivados de la destilería o del biocombustible
DG	Granos destilados
DS	Granos solubles
EE	Extracto etéreo
EM	Energía metabolizable
eFND	Fibra neutro detergente efectiva
FAD	Fibra ácido detergente
FND	Fibra neutro detergente
G:F	Relación ganancia de peso:ingestión materia seca
LAD	Lignina ácido detergente
MO	Materia orgánica
MS	Materia seca
MUF	Ácidos grasos monoinsaturados
NFFS	Fuentes de fibra no forrajera
peFND	Fibra detergente ácido físicamente efectivo
PV	Peso vivo
PUFA	Ácidos grasos poli-insaturados
SFA	Ácidos grasos saturados
SH	Cascarilla de soya
UFA	Ácidos grasos insaturados
VFA	Ácidos grasos volátiles
WCS	Semilla de algodón

INDICE DE MATERIA

TITULO	i
DIRECTOR DE TESIS	ii
FINANCIAMIENTO DEL TRABAJO	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
PUBLICACIONES Y ABSTRACTS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ABREVIACIONES	viii
TABLA DE CONTENIDOS	ix
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xi

1

Capítulo I: Introducción y Revisión Bibliográfica.

1. Introducción	2
2. Composición química de las fuentes de fibra no forrajera.	7
3. Las fuentes de fibra no forrajera en la alimentación de los rumiantes.	12
3.1. Aporte de fibra de las fuentes fibra no forrajera.	12
3.2. Tamaño de partícula de las fuentes de fibra no forrajera.	14
3.3. Efectividad de la fibra de las fuentes de fibra no forrajera.	16
3.4. El uso de las fuentes de fibra no forrajera en alimentación de los bovinos.	19
3.4.1 Cascarilla de soja	20
3.4.2 Pulpa de remolacha	23
3.4.3 Semilla de algodón	25
4. Referencias bibliográficas	28

Capítulo II: Objetivos	39
-------------------------------	-----------

1. Objetivos	40
---------------------	-----------

Capitulo III: 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.	43
---	-----------

1. Abstract	44
--------------------	-----------

2. Introduction	45
------------------------	-----------

3. Materials and Methods	47
---------------------------------	-----------

3.1 Animals, experimental design and housing	47
--	----

3.2 Feed, water supply and data collection.	48
---	----

3.3 Data collection and analyses	50
----------------------------------	----

3.4 Animal behaviour	51
----------------------	----

3.5 Statistical analyses	52
--------------------------	----

4. Results	53
-------------------	-----------

4.1 Feed intake, water consumption, performance and sorting of particles	53
--	----

4.2 Animal behaviour	55
----------------------	----

5. Discussion	61
----------------------	-----------

6. References	65
----------------------	-----------

Capítulo IV: Feed intake, ruminal fermentation, and animal behavior of beef heifers fed forage free diets containing non-forage fiber sources. **69**

1. Abstract	70
2. Introduction	71
3. Materials and Methods	72
3.1 Animals, experimental design and housing	72
3.2 Feed and Data Collection	73
3.3 Chemical Analyses	75
3.4 Ruminal Fermentation	76
3.5 Animal Behavior	76
3.6 Statistical Analyses	77
4. Results	78
4.1 Intake and Sorting of Particles	78
4.2 Ruminal Fermentation	80
4.3 Feeding and Animal Behavior	81
5. Discussion	85
5.1 Soybean Hulls vs. Barley Straw	86
5.2 Beet Pulp vs. Barley Straw	88
5.3 Whole Cottonseed vs. Barley Straw	89
6. Literature cited	92

Capítulo V: Performance, behavior, carcass characteristics, and meat quality of finishing beef heifers fed whole cottonseed. **97**

1. Abstract	98
2. Introduction	99
3. Materials and Methods	100
3.1 Animals, experimental design and housing	100
3.2 Feed and Data Collection	101

3.3 Chemical Analyses	103
3.4 Animal Measurements and Behavior	104
3.5 Carcass and Meat Quality Measurements	105
3.6 Statistical Analyses	106
4. Results	107
4.1 Performance and sorting of particles	107
4.2 Feeding and Animal Behavior	109
4.3 Carcass and Meat Quality Measurements	112
5. Discussion	115
6. Literature cited	120

Capítulo VI: Discusión de Resultados	125
---	------------

1.El suministro de la paja de cereal separada del pienso o bien mezclada en él.	126
1.1 Efecto sobre la ingestión, la ganancia de peso y la eficiencia de transformación.	126
1.2 Efecto sobre el comportamiento animal.	133
2. El uso de fuentes de fibra no forrajera.	139
2.1 Efecto sobre la ingesta.	139
2.2 Efecto sobre la fermentación ruminal.	144
2.3 Efecto sobre el comportamiento.	147
3. Referencias bibliográficas.	153

Capítulo VII: Conclusiones	161
-----------------------------------	------------

1. Conclusiones	162
------------------------	------------

INDICE DE TABLAS

Capítulo I: Introducción y Revisión Bibliográfica. 1

Tabla 1.- Características nutricionales de algunas fuentes de fibra no forrajera	9
Tabla 2.- Composición de ácidos grasos de algunas fuentes de fibra no forrajera	11
Tabla 3.- Valor de efectividad del FND	18
Tabla 4.- Límite máximo de incorporación de las NFFS en rumiantes	20

Capítulo III: 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. 43

Table 1. Ingredients and chemical composition of concentrate.	49
Table 2. Intake, water consumption and animal performance in heifers feeding concentrate and barley straw as choice or as total mixed ration	54
Table 3. Effect of feeding method, choice versus total mixed ration, on the sorting of particles	55
Table 4. Behaviours of heifers feeding concentrate and barley straw as choice or as total mixed ration	56
Table 5. Mean, standard deviation and range of rumination time, and dietary factors and their relationships determined by regression	59

Capítulo IV: Feed intake, ruminal fermentation, and animal behavior of beef heifers fed forage free diets containing non-forage fiber sources. 69

Table 1. Ingredients and chemical composition of the diets.	74
Table 2. Intake of heifers fed TMR diets including forage fiber or non-forage fiber.	79
Table 3. Particle size of the diets offered as TMR.	79
Table 4. Ruminal fermentation of heifers fed TMR diets including forage fiber or non-forage fiber.	81
Table 5. Feeding behavior of heifers fed TMR diets including forage fiber or non-forage fiber.	82
Table 6. Behavioral activities of heifers fed TMR diets including forage fiber or non-forage fiber.	83

Capítulo V: Performance, behavior, carcass characteristics, and meat quality of finishing beef heifers fed whole cottonseed. 97

Table 1. Ingredients and chemical composition of the diets.	102
Table 2. Intake and performance of heifers fed diets including forage fiber or non-forage fiber.	108
Table 3. Particle size of the diets offered.	109
Table 4. Effect of physical characteristics of the diets on the sorting of particles.	109
Table 5. Feeding behavior of heifers fed diets including forage fiber and non-forage fiber.	110
Table 6. Behavioral activities of heifers fed diets including forage fiber or non-forage fiber.	111
Table 7. Carcass and meat quality of <i>Longissimus thoracis</i> of heifers fed diets including forage fiber or non-forage fiber.	113
Table 8. Composition of the principal fatty acid found in the <i>Longissimus thoracis</i> muscle of heifers fed diets including forage fiber or non-forage	

fiber.	114
--------	-----

Capítulo VI: Discusión de Resultados	125
---	------------

Tabla 1. Ingesta de materia seca, proteína y fibra neutro detergente en terneras y vaquillas alimentadas con pienso y paja separada del pienso o mezclada con él.	127
---	-----

Tabla 2. Tiempo dedicado a algunas actividades por parte de las terneras y vaquillas alimentadas con pienso y paja por separado o en mezcla.	134
--	-----

Tabla 3. Tiempo de rumia, masticación y estereotipias y su relación con la ingesta de materia seca y de FND	139
---	-----

Tabla 4. Ingesta de materia seca, proteína y fibra neutro detergente según fuente de fibra.	140
---	-----

Tabla 5. Tiempo promedio destinado a diversas actividades relacionadas con el comportamiento alimenticio y los resultados del proceso fermentativo según las NFFS incluidas en la dieta del cebo de vaquillas.	150
--	-----

Tabla 6. Características de las dietas usadas en el cebo de las vaquillas en los experimentos 2 y 3 y las respuestas productivas y de comportamiento alimenticio registradas.	152
---	-----

INDICE DE FIGURAS

Capítulo III: 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. 43

Figure 1. Eating time patterns obtained from video recordings of heifers fed concentrate and barley straw, either separately by choice feeding method, or as total mixed ration. 57

Figure 2. Ruminating time patterns obtained from video recordings of heifers fed concentrate and barley straw, either separately by choice feeding method, or as total mixed ration. 58

Figure 3. The quadratic relationship between NDF intake from concentrate and rumination time. 60

Figure 4. The linear relationship between NDF intake from concentrate and total chewing time. 60

Capítulo IV: Feed intake, ruminal fermentation, and animal behavior of beef heifers fed forage free diets containing non-forage fiber sources. 69

Figure 1. Ruminating time patterns obtained from video recordings of heifers fed TMR, where the main fiber source is barley straw, soybean hulls, whole cottonseed and beet pulp. 84

Capítulo VI: Discusión de Resultados**125**

Figura 1. Relación entre el peso vivo de las terneras y la ingesta de pienso y de paja independientemente del método de oferta.	128
Figura 2. Relación entre el peso vivo y la ingesta de pienso y de paja ofrecidos ambos alimentos a través de TMR y por separado.	129
Figura 3. Relación entre el peso vivo de las vaquillas y la ingesta de pienso y de paja independientemente del método de oferta.	129
Figura 4. Relación lineal entre la ingesta de paja y de FND de la dieta.	130
Figura 5. Relación lineal entre la ingesta de pienso y de FND de la dieta.	130
Figura 6. Relación lineal entre el porcentaje de partículas de tamaño superior a 1,18 mm y la ingesta de materia seca.	132
Figura 7. Patrón de comportamiento de ingesta de materia seca de vaquillas a las que se les ofrece el alimento por separado o como TMR.	135
Figura 8. Patrón de comportamiento de la ingesta en vaquillas que reciben la dieta SEP y TMR en intervalo de dos horas.	136
Figura 9. Patrón de comportamiento de rumia para vaquillas que reciben dieta separada o mezclada	138
Figura 10. Ingesta de materia seca, FND y eFND y tamaño promedio de las partículas en dietas con fuentes de fibra forrajera y no forrajera .	141
Figura 11. Correlación entre la eFND de las distintas fuentes de fibra y la ingesta de materia seca	145
Figura 12. Efecto de la inclusión de fibra no forrajera sobre el pH ruminal de vaquillas.	147
Figura 13. Tiempo destinado a la ingesta de materia seca registrado para las dietas con distintos tipos de NFFS, ordenados por intervalos de dos horas	148

Capítulo I
Introducción y Revisión Bibliográfica

1. Introducción

Las características climáticas de España y la baja productividad de la reducida superficie forrajera llevan a que la producción de carne bovina se fundamente en un modelo intensivo de producción que implica la oferta ad libitum de concentrado, constituido predominantemente por cereales de grano, y paja de cereal.

Este modelo productivo se ha llevado a cabo por mucho tiempo con resultados productivos y económicos favorables, sin embargo al ofrecer estos alimentos a libre consumo no se están considerando las normas mínimas en el balance de raciones. Estas normas básicas señalan que en la formulación de raciones de cebo para terneros es fundamental mantener una relación forraje:concentrado para asegurar que asegure un adecuado aporte de energía, proteína y fibra que permita alcanzar la ganancia de peso estimada, sin comprometer el ecosistema ruminal y la salud del animal. En cuanto a la oferta de forraje, su aporte está dirigido principalmente a cubrir la demanda de fibra que, por su condición física y química, incentive el proceso de rumia y salivación y, con ello, reduzca las probabilidades de aparición de acidosis ruminal que puede llegar a surgir considerando la naturaleza de esta dieta de alta fermentabilidad. Al respecto, el NRC (2000) sugiere que en una dieta alta en concentrado, como la utilizada en este tipo de cebaderos, se debería asegurar un mínimo del 20% de FDN efectiva para mantener el pH por encima del 6,2.

Los movimientos comerciales especulativos generados por las sequías recurrentes y por su desviación hacia la producción de biocombustibles han llevado a un alza en el precio de los ingredientes utilizados en la alimentación de los terneros, lo que ha obligado la búsqueda de alternativas de alimentos que permitan reducir los costes de producción. Al respecto, algunos subproductos generados en la producción agrícola, agroindustria o los subproductos resultantes de la producción de los biocombustibles han sido utilizados como opción para la inclusión de fibra de alta calidad a las dietas de engorde, determinando que su inclusión ha permitido mantener y/o mejorar los resultados productivos del ganado (Bradford y Mullins, 2012).

Muchos de estos subproductos, denominados como fuentes de fibra no forrajera (NFFS, non-foragefibersources), en términos generales presentan una elevada concentración energética, una fibra de elevada digestibilidad y un tamaño de partícula variable pero generalmente menor que la del forraje.

La concentración de FDN de la mayoría de las NFFS está dentro del rango de muchos forrajes (40 a 60%), aunque algunos tienen una concentración de FDN que excede el 70%. Este tipo de subproductos tienen un elevado contenido en fibra como los forrajes, pero de elevada digestibilidad, por lo que su ritmo de paso a través del rumen puede ser similar al de un concentrado, además tienen menor capacidad de llenado que los forrajes, con lo cual su incorporación en la dieta no tiene por qué afectar la ingesta de materia seca. Por otro lado, si se comparan con los granos, tienen la ventaja de reducir las probabilidades de acidosis ruminal debido a que su fermentación es más lenta -salvo alguna excepción- lo que permite un aumento en el tamaño de comida y en el consumo de alimento.

Como aspecto negativo de algunos NFFS, está el reducido tamaño de sus partículas y el bajo contenido de lignina, lo que significa disponer de una fibra menos efectiva para la estimulación de masticación. Sumado a lo anterior se tiene que alguno de ellos presentan una baja estabilidad lo que hace restrictivo su uso, especialmente en climas húmedos, aunque este inconveniente puede ser mejorado o solucionado a través de un proceso de secado, aunque este manejo, además de incluir un costo adicional, provoca una disminución de su digestibilidad (Anderson *et al.*, 2006). Cabe destacar que el mayor contenido de humedad de estos subproductos permite que ésta actúe como agente de cohesión en caso de utilizarlo en mezclas unifeed, lo cual permite reducir la ingestión selectiva de los ingredientes (Sullivan *et al.*, 2011).

Como se mencionó anteriormente la inclusión de NFFS permite un incremento en la concentración energética de la dieta, lo cual es muy favorable para sistemas de cebo, condición que obliga aún más a realizar el aporte de fibra que al menos represente un 20% de la ración diaria (Pitt *et al.*, 1996; NRC, 2000) favoreciendo con ello la ingesta de materia seca (Clark y Davis, 1980; Journet y Remond, 1976;

Spahr, 1977; Wangsness y Muller, 1981), una óptima actividad masticatoria (Grant, 1997), una fermentación ruminal normal (Grant, 1997), mantener la tonacidad del músculo en el tracto digestivo y el pH ruminal por encima de 6 (Sudweeks *et al.*, 1981) y reducir las probabilidades de sufrir rumenitis, paraqueratosis y abscesos hepáticos (Loerch, 1991).

A continuación se presentan, de forma resumida, algunas de las fuentes de fibra no forrajera disponibles en España para utilizarlas en los cebaderos de terneros a:

Cascarilla de soja

Subproducto muy voluminoso obtenido en el procesado de la soja para la obtención de aceite. Representa un 8% del peso del grano y contiene alrededor del 40% de su fracción fibrosa. Su comercialización puede ser como producto puro para dietas de rumiantes o bien mezclado con harina, la cual es destinada tradicionalmente a la alimentación de animales jóvenes (FEDNA, 2010).

Pulpa de remolacha.

Subproducto de la extracción de azúcar de la remolacha azucarera. Cuando se peletiza, los gránulos tienen un diámetro en torno a los 8-9 mm y una densidad de 400-500 kg/m³. A menudo se comercializa con una proporción variable de melaza, vinazas y otros subproductos de la industria azucarera. La adición de melazas aumenta la riqueza en azúcares de la pulpa y le da al producto final una tonalidad más oscura. Se suministra a los animales en forma húmeda (10-15% MS), prensada (20-25% MS), ensilada o bien deshidratada y granulada, siendo esta última la que se utiliza con mayor frecuencia. Posee una alta palatabilidad y tiene un efecto laxante (Feedipedia, 2013).

Semilla de algodón.

Constituye alrededor del 40% del peso del fruto. Se puede utilizar directamente en alimentación animal o bien después de la extracción de aceite para el consumo

humano (FEDNA, 2010). Es un producto voluminoso, con elevado contenido en humedad y al alto grado de insaturación. Debido a sus características, requiere de un control periódico de enranciamiento y del nivel de aflatoxinas (Abel-Caines *et al.*, 1997).

La semilla de algodón contiene gossypol, pigmento antinutritivo que se encuentra en forma libre y cuya ingesta puede provocar dificultades respiratorias, insuficiencia circulatoria y la muerte del animal. La toxicidad del gossypol se reduce a través de tratamiento de la semilla con calor (Calhoun y Holmberg, 1991; Zhang *et al.*, 2007) y en la digestión ruminal al generar enlaces con la proteína soluble por lo que su uso en rumiantes es menos arriesgado que lo es en animales monogástricos. Al respecto se considera que sólo su condición libre daña la productividad, sin embargo, al permanecer ligado a la proteína, la digestibilidad de la lisina se ve perjudicada (Abel-Caines *et al.*, 1997 ;Mena *et al.*, 2004). El nivel de gossypol libre en la semilla varía entre el 0,4% y 1,0% y en la harina, tras extracción del aceite, disminuye a un 0,04% - 0,30% (FEDNA, 2010).

Granos y solubles derivados de la destilería o generación de biocombustible (DDGS).

Subproducto proveniente del proceso de obtención de alcohol para bebidas o del etanol para su utilización como biocombustible a partir de un cereal, por lo que incluye tanto al trigo, la cebada o el maíz que al ser sometidos a cualquiera de estos procesos industriales sufren una reducción drástica de los carbohidratos no estructurales. Tiene una gran variabilidad nutricional y son muy palatables, sin embargo debe restringirse su suministro dado que puede afectar la fermentación ruminal por su alto contenido en grasa insaturada. Se clasifican como DG (distillergrains) cuando contienen fundamentalmente residuos no fermentados de los granos originales o como DS (distillers solubles) cuando contienen granos de destilería solubles y levaduras, nutrientes solubles y partículas de granos más finas. Su venta se realiza luego de un proceso de desecación y se mezclan en una proporción equivalente a un 25% de DS y 75% de DG, lo que da origen al producto denominado DDGS.

Cascarilla de girasol

Subproducto compuesto por las cubiertas externas de la semilla de girasol y son el resultado del proceso de descascarillado para la obtención de ingredientes de mayor valor nutritivo para piensos concentrados o consumo humano. Su composición presenta variabilidad en función de la cantidad de endospermo que permanece adherida a la cascarilla. Esto comporta una variabilidad en el contenido de grasa y proteína, lo que afecta de manera importante su valor nutritivo, ya que el resto de estos ingredientes está constituido fundamentalmente por componentes de la pared celular altamente lignificados.

Cascarilla de algodón

El mayor valor de este subproducto está dado por el alto contenido de fibra y lignina (50% y 20%, respectivamente), lo cual favorece el proceso de rumia y motilidad ruminal. En cuanto a su valor proteico y energético si bien son bajos, pueden estar afectados por el porcentaje de semilla que puede contener luego del proceso industrial de separación, el cual puede fluctuar entre 5% y 10%. Un aspecto favorable es su bajo contenido de gossipol (0,06%), lo que permite su nivel de inclusión mayor que la semilla de algodón. Por sus características de producto voluminoso, se restringe su uso en alimentación animal, sin embargo puede ser granulado con facilidad agregando melaza. Dado su valor nutricional puede sustituir muy bien a un heno de gramínea de calidad regular.

Pulpa de cítricos

Subproducto de la industria de producción de zumos de cítricos. Su composición química varía en función del tipo de agrio procesado (naranja, limón, pomelo, y hasta uva, en proporciones variables). Está constituido por la piel, las semillas, la pulpa y los frutos de desecho. Puede utilizarse en forma fresca, ensilada o deshidratada. Durante la deshidratación es frecuente añadir óxido o hidróxido de calcio a fin de modificar el pH y facilitar el proceso. Posteriormente se realiza un prensado para la separación de las melazas que pueden luego añadirse al

producto final. Las melazas mejoran el proceso de granulación, pero dan un aspecto más oscuro al producto. La pulpa prensada se deshidrata a unos 100°C. El producto resultante es voluminoso (160-360 kg/m³), por lo que suele granularse para incrementar su densidad hasta los 600 kg/m³.

Salvado y tercerillas de trigo

Subproductos provenientes de las sucesivas etapas del proceso de molturación y cernido de trigo para la obtención de harina. Representa aproximadamente el 25% del grano, en donde se incluyen proporciones variables de tegumento, germen, capa de aleurona y endospermo harinoso y almidón. Su contenido de proteína se mantiene relativamente constante, mientras que la fibra y el almidón pueden fluctuar entre un 2% y un 10% y entre un 20% y un 60%, respectivamente. Esta condición hace que su valor nutritivo sea muy fluctuante, aunque es un producto de alta palatabilidad.

2. Composición química de las fuentes de fibra no forrajera.

Los subproductos incluidos en la categoría de fuentes de fibra no forrajera presentan una gran variabilidad respecto a su composición proteica, en extracto etéreo y fibra, como se aprecia en la Tabla 1. Destaca el mayor contenido de proteína de aquellos subproductos provenientes de la industria del biocombustible y de la semilla de algodón. Por otro lado, la pulpa de remolacha posee un nivel muy bajo de proteína (7% a 10%), siendo en su mayoría proteína verdadera y con desequilibrio en su composición de aminoácidos esenciales, siendo especialmente deficitaria en metionina y azufrados totales. Una parte importante de esta proteína se encuentra ligada a la pared celular (50%) y una menor proporción es proteína no disponible ligada a la FAD (10%). La degradabilidad efectiva de esta proteína varía entre el 55% y el 60%, y la velocidad de degradación es de un 6,5 %/h.

Un subproducto de importante valor nutritivo lo constituye la semilla de algodón cuyo valor proteico es bastante alto (20%), con una degradabilidad que alcanza el

73% y cuya porción soluble fluctúa entre el 40 y el 50% (Abel-Caines *et al.*, 1997; Arieli *et al.*, 1989; Mena *et al.*, 2004). Mientras que el contenido en FND se encuentra en un nivel cercano al promedio de las NFFS que se presentan en la Tabla 1, y sólo es superado por la cascarilla de algodón, de girasol y de soja. Por lo que respecta a la cascarilla de algodón, claramente se aprecia que su valor nutricional está dado por su elevado contenido de fibra, encontrándose entre las NFFS de mayor aporte de FND, FAD y LAD.

En cuanto a la cascarilla de girasol, como se mencionó anteriormente, ésta corresponde a la cubierta externa de la semilla, lo cual explica su alto valor de FND y LAD, y bajo contenido en proteína y extracto etéreo, siendo estos dos últimos parámetros más bajos que el promedio de las NFFS que se presentan en la Tabla 1.

Dentro de las características químicas o nutricionales de la cascarilla de soja, ésta presenta un nivel alto de proteína, aunque su variabilidad es bastante alta (entre un 7% y un 21%), y su degradabilidad ruminal es bastante constante y elevada (84%). Por otro lado, presenta un alto contenido en FND, el cual está constituido hasta un 50% de celulosa cuya digestibilidad *in vitro* y en vivo es del 96% (Quicke *et al.*, 1959; Firkins, 1997, Harvatine *et al.*, 2002, FEDNA, 2010).

Respecto a los granos y solubles de cebada y maíz, son los subproductos que presentan una mayor concentración en proteína, cuya degradabilidad varía según el grano, como se indica a continuación: arroz (65,9 %), triticale (63,2%), trigo (60,8%) y cebada (48,2%) (Feedipedia, 2013). En cuanto a la concentración de fibra, el destilado de maíz es menor en FND y LAD, lo que hace que su valor energético sea mayor. Al respecto, se ha determinado que la digestibilidad de la materia orgánica para este tipo de producto puede alcanzar al 73,5%, lo que equivale a un valor energético del orden de 3,01 Mcal/kg MS (Feedipedia, 2013; Wood *et al.*, 2003). Sin embargo, recientes investigaciones han determinado una digestibilidad cercana al 85%, incrementando con ello su aporte energético a valores de entre 3,48 y 3,80 Mcal/kg (Feedipedia, 2013).

La pulpa de cítrico, se encuentra entre las NFFS que presentan la concentración menor de los parámetros que se indican en la Tabla 1, excepto el valor energético, ocupando éste el tercer lugar, con un valor de 2,72 Mcal/Kg MS, siguiendo a la semilla de algodón y los DDGS de maíz.

En cuanto al salvado y tercerillas de trigo, su alto contenido en proteína está basado en su contenido de tegumento, germen, capa de aleurona y endospermo harinoso, por lo que su aporte de fibra es bajo pero de alta digestibilidad, dado su baja concentración de LAD.

Aunque el contenido de FND de algunos NFFS parece ser alto, alguno de ellos, por su alto contenido de pectina, posee una gran digestibilidad, lo que se refleja en su valor energético. A su vez, esto significa que su inclusión como fuente de fibra puede provocar una disminución de la fibra efectiva necesaria para incentivar la actividad masticatoria (Allen y Grant, 2000; Bradford y Mullins, 2012).

Tabla 1.- Características nutricionales de algunas fuentes de fibra no forrajera (FEDNA, 2010).

Subproducto	MS (%)	PB (%)	EE (%)	FDN (%)	FDA (%)	LAD (%)	EM Mcal/Kg
Cascarilla de algodón	91,4	6,3	3,1	77,6	63,2	18,1	1,22
Cascarilla de girasol	91,4	5,7	3,0	72,2	57,0	20,1	1,20
Cascarilla de soja	89,0	11,8	2,5	57,5	43,3	1,8	2,60
Granos y solubles de maíz	90,1	26,0	10,1	26,4	10,3	2,9	2,90
Granos y solubles de cebada	91,9	24,9	5,1	34,0	13,0	4,6	2,59
Pulpa de cítricos	89,2	6,1	1,6	24,6	18,5	1,9	2,72
Pulpa remolacha	89,9	9,2	0,8	42,8	22,9	1,7	2,58
Salvado y tercerillas de trigo	88,0	14,9	3,5	35,0	11,8	3,1	2,33
Semilla algodón	92,0	20,4	18,4	39,8	33,0	9,7	3,00
Promedio	90,3	13,9	5,3	45,5	30,3	10,4	2,35

Las características nutricionales de las distintas NFFS, permiten afirmar que su inclusión no solo permiten sustituir a la fibra forrajera, sino también permiten incrementar la densidad energética de la ración (Bradford y Mullins, 2012). Basado en esta premisa, algunas NFFS también han sido utilizadas como

ingrediente sustitutivo de granos de cereales y harinas de oleaginosas (Armentano y Dentine, 1988; Younker *et al.*, 1998). Al respecto, algunos estudios han determinado que en dietas altamente fermentables, la sustitución de forraje por NFFS pueden mejorar la producción y particularmente la grasa (Weiss, 2012). Al respecto se debe señalar que si bien gran parte de la fibra proveniente de NFFS es altamente digestible comparada con la fibra forrajera, su digestibilidad in vivo puede estar limitada por su alta velocidad de pasaje. Por otro lado, al reemplazar el concentrado por NFFS puede sacrificar productividad al disminuir la oferta de energía digestible, incluso al reemplazar carbohidratos no estructurales altamente digestible por FND de NFFS se puede obtener una disminución en la ingesta de alimento y en la digestibilidad de la dieta (Bradford y Mullins, 2012). De acuerdo a Fellner y Belyea (1991), este tipo de fuente de fibra pueden tener una mayor eficiencia al sustituir el almidón en una dieta, ya que su inclusión permite suministrar una mayor cantidad de materia orgánica fermentable que favorece una producción más constante de ácidos orgánicos (Fellner y Belyea 1991; Stock *et al.*, 2000).

La Tabla 1 refleja que los granos y solubles de maíz y la semilla de algodón son las NFFS que contienen mayores porcentajes de extracto etéreo (10,1% y 18,4%, respectivamente). Al respecto se debe mencionar que el contenido de extracto etéreo es relevante por dos aspectos; uno se relaciona con el aporte energético adicional (Abel-Caines *et al.*, 1997) que se obtiene en el proceso metabólico y, el otro, se refiere a que puede pasar a ser un componente que afecte al adecuado funcionamiento de algunas bacterias del rumen. Considerando este último aspecto, se recomienda que la semilla de algodón, debe ser incluida sólo hasta un 15% de la dieta debido a la concentración de ácidos grasos insaturados que posee, que pueden inhibir la actividad de las bacterias celulolíticas (Jenkins, 1993; Pantoja *et al.*, 1994), disminuyendo con ello la digestibilidad de la fibra, la velocidad de pasaje ruminal y la ingesta de materia seca total (Cranston *et al.*, 2006).

Además, desde el punto de vista nutricional, cada vez es más relevante conocer el contenido de los distintos ácidos grasos que tienen los suplementos o materias

primas utilizadas para la formulación de raciones, con el fin de determinar la conveniencia de su inclusión en la dieta, considerando su efecto en la calidad del producto cárnico final. En la Tabla 2 se presentan la concentración de algunos ácidos grasos en las NFFS disponibles en España.

En función de los datos presentados en la Tabla 2, se puede señalar que en general estas NFFS tienen un contenido elevado en $C_{18:2}$, $C_{18:1}$ y $C_{16:0}$, principalmente. Respecto al contenido de ácido esteárico ($C_{18:2}$), todas las NFFS presentan valores relativamente altos excepto la pulpa de cítrico. Mientras que el ácido oleico ($C_{18:1}$) se encuentra en mayor concentración en los granos solubles de maíz y la pulpa de cítrico y el ácido palmítico ($C_{16:0}$), si bien presenta gran variabilidad, se encuentra en menor concentración en la cascarilla de girasol, de soja y granos y solubles de maíz.

Tabla 2.- Composición de ácidos grasos de algunas fuentes de fibra no forrajera (FEDNA, 2010).

	Grasa verdadera (%EE)	Ácidos grasos (% grasa verdadera)							
		$C_{14:0}$	$C_{16:0}$	$C_{16:1}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	$C_{\geq 20}$
Cascarilla de algodón	63	1,0	24,0	1,0	2,0	19,0	51,0	0,2	1,0
Cascarilla de girasol	60	0,3	7,0	0,3	4,0	22,0	65,0	0,4	0,3
Cáscara soja	90	0,2	11,0	0,2	4,0	22,0	54,0	8,0	0,4
Granos y solubles de cebada	70	-	23,0	-	-	13,0	56,0	6,0	-
Granos y solubles de maíz	78	-	13,5	-	2,0	26,0	55,0	1,3	-
Pulpa de cítricos	55	0,8	27,0	0,7	5,6	25,0	34,0	6,0	0,4
Pulpa remolacha	40	-	21,5	-	1,5	10,0	57,1	10,5	-
Salvado y tercerilla de trigo	72	-	19,0	1,0	1,0	15,0	57,0	5,0	1,0
Semilla algodón	95	1,0	24,0	1,0	2,0	19,0	51,0	0,2	1,0
Promedio	69,2	0,66	18,8	0,70	2,45	19,0	47,8	4,18	0,6

3 Las fuentes de fibra no forrajera en la alimentación de los rumiantes

3.1 Aporte de fibra de las fuentes fibra no forrajera

La opción de sustituir la fibra de origen forrajero con las NFFS será posible en la medida que ellas cumplan con las condiciones químicas y físicas que estimulen la masticación, asegurando con ello un adecuado funcionamiento del rumen. En cuanto a la constitución química, la mayoría de las NFFS poseen un bajo nivel de lignina y un alto potencial de fibra digestible (Bradford y Mullins, 2012), mientras que por sus características físicas la mayoría de ellas son de pequeño tamaño de partícula, lo que facilita su rápido escape del rumen haciendo disminuir la digestibilidad de la fibra (Hsu *et al.*, 1987).

Respecto a las características químicas de la fibra de la cáscara de soja, ésta posee una pared celular que contiene un 43% de celulosa, 18% de hemicelulosa 8% de pectinas y 1,4% de lignina. Considerando esta composición, se explica porque este subproducto tiene una digestibilidad del 85%, sin embargo se ha registrado que la digestibilidad de la celulosa y de la fibra in vitro luego de 48 horas alcanza a 96% y 97%, respectivamente, valor que disminuye a 54% y 57% cuando se evalúa in vivo (Ipharraguerre y Clark, 2003). Dada sus características, es una NFFS de alta palatabilidad, cuyo aporte de fibra efectiva, requerida para estimular la rumia y la motilidad ruminal, es reducida, por lo tanto, la posibilidad de sustituir la fibra forrajera es limitada.

En cuanto a la pulpa de remolacha, su principal componente son los hidratos de carbono, con cantidades apreciables de pectinas (20-30%) y en menor proporción de azúcares (6%), tales como sacarosa y algo de glucosa, y cuyo nivel de lignina varía entre un 2 y un 4%. Ello hace que su degradabilidad pueda alcanzar al 95% a las 24 h, lo cual permite incrementar además su valor energético (Nocek y Russell, 1988; Van Soest *et al.*, 1991; Money y Allen, 1997; Bhatti y Firkins, 1994). La alta presencia de pectinas permite un aporte importante de grupos carboxilo del ácido galacturónico, caracterizado por su alta capacidad de intercambio catiónico. Como consecuencia, aunque posee una fibra de baja efectividad, sin

embargo ayuda a regular el pH ruminal en raciones con alta inclusión de concentrado gracias a los grupos carboxilos (Van Soest *et al.*, 1991). Cabe señalar que la FND de la pulpa puede ser digerida más rápidamente que la FND del forraje, debido a su mayor contenido de pectina, siendo degradada más rápidamente que la celulosa y las hemicelulosas. Además, la fermentación de la pectina no inhibe la digestión de la celulosa y las hemicelulosa, mientras que al fermentar el almidón, las bacterias pectinolíticas también son inhibidas a bajo pH ruminal (Bhattiy Firkins, 1995).

La semilla de algodón posee un alto contenido de celulosa y pectina, y una baja proporción de lignina, por lo tanto esta fibra es altamente digestible (Coppock *et al.*, 1985; Pena *et al.*, 1986, Bhatti y Firkins. 1994, Money y Allen, 1997).

En cuanto a los subproductos de la industria del biocombustible (DDGS), se ha determinado que no son particularmente ricos en pared celular, por el contrario poseen un bajo contenido de lignina (3,9%) lo que se traduce en un producto con alta digestibilidad (Feedipedia, 2013).

La cascarilla de girasol, compuesta principalmente por las cubiertas externas de la semilla, posee un alto porcentaje de lignina lo que hace que sólo un 18% de la fibra sea digestible. Si bien esta condición permitiría reemplazar la fibra forrajera al promover la masticación, también juega un rol desfavorable que puede afectar la ingesta de materia seca, aunque este efecto puede ser disminuido si es finamente molida o si es suministrada a través de pellets (Feedipedia, 2013).

La pulpa de cítricos se caracteriza por presentar un menor contenido de hemicelulosas que la pulpa de remolacha (6% vs 20%), pero una mayor proporción de pectinas (25% vs 21%) y azúcares (23% vs 6%), lo cual afecta positivamente su grado de digestibilidad.

En términos generales, y salvo la cáscara de girasol, las NNFS poseen un alto grado de digestibilidad de la fibra por lo que hace necesario reevaluar la opción de

utilizar este tipo de subproductos como fuente sustitutiva de fibra forrajera, sin afectar el comportamiento del animal, ni afectar su ecosistema ruminal.

3.2 Tamaño de partícula de las fuentes de fibra no forrajera

Las NFFS poseen, en general, un bajo nivel de lignina y con ello un alto potencial de fibra digestible (Garleb *et al.*, 1988). Sin embargo, algunos autores han determinado que su pequeño tamaño de partícula facilita su rápido escape del rumen lo que hace disminuir la digestibilidad de la fibra (Hsu *et al.*, 1987; MacGregor *et al.*, 1976; Firkins, 1997). La probabilidad que estas partículas salgan pronto del reticulorumen está determinado por su tamaño y peso específico (Grant, 1997), parámetros que explicarían el 28 y 59% de la variación en el tiempo de retención en el retículo rumen, respectivamente (Kaske y Englehardt, 1990). Al respecto, Vargas *et al.* (1998) determinaron que la variación de la eficiencia de la FND de las NFFS es mayor que la FND del forraje, debido principalmente por el tamaño de partícula, ya que afecta su tiempo de retención en el rumen. Erdman *et al.* (1987), afirmaron que el ritmo de paso de las NFFS (entre 0,043/h y 0,05/h) era muy cercano a la determinada para el forraje (0,037 a 0,046/h). Sin embargo estos valores son distintos a los que presenta Nakamura y Owen (1989), quienes determinaron un ritmo de paso de 0,076/h y de 0,058 para las NFFS y el forraje, respectivamente.

Según Grant (1997), el peso específico puede ser más importante que el tamaño de las partículas para determinar el ritmo de pasoruminal. Esto significa que partículas con peso específico de entre 1,2 a 1,5 tienen un elevado ritmo de paso (Murphy *et al.*, 1989), dado que las partículas con menos de 1,2 es probable que floten y cuando es mayor a 1,5 se hundan bajo el orificio reticuloomasal (Bhatti y Firkins, 1995). Al respecto se ha determinado que el peso específico para las NFFS se encuentra en un rango de entre 1,4 y 1,5 (Siciliano-Jones y Murphy, 1991). Al respecto Weidner y Grant (1994b) encontraron que un 60% de la cáscara de soja posee un peso específico de entre 1,2 y 1,4.

Otro elemento que tiene relación con el tiempo de retención de las NFFS está relacionado con la tasa de hidratación. De acuerdo a Hintz *et al.* (1964) y Froetschel y Amos (1991), existe una relación inversa entre la capacidad de retención de agua y el ritmo de paso por el rumen (Wattiaux *et al.*, 1992). Como antecedente se tiene que la tasa de hidratación de la cáscara de soja es de 0,063 min⁻¹ y de 0,252 m⁻¹ para la pulpa de remolacha, y que la capacidad de retención de agua es 0,305 g/g y 0,358 g/g, respectivamente.

Van Soest *et al.* (1991) determinaron que el tamaño promedio de la partícula de la cáscara de soja es de 0,9 mm, ello significa que su velocidad de paso ruminal es alta y, con ello, se reduce la digestibilidad de la fibra (Quicke *et al.*, 1959; Johnson *et al.*, 1962; Hintz *et al.*, 1964; Weider y Grant, 1994; Martin e Hibberd, 1990; Hsu *et al.*, 1987; Trater *et al.*, 2001). La cáscara de soja tiene un ritmo de paso de entre 0,011 a 0,096/hr (Anderson *et al.*, 1988; Noceky Russell, 1988; Sarwar *et al.*, 1991). Al respecto, Nakamura y Owen (1989), determinaron que al incluir cáscara de soja hasta un 28% de la MO de la dieta, se logró una mejora en la digestibilidad de la fibra. Sin embargo, al incrementar su inclusión hasta un 48%, la digestibilidad de la fibra y de la MO disminuyeron, atribuyendo este efecto al incremento en el ritmo de paso. Esta conclusión coincide con la propuesta por Quicke *et al.* (1959), quienes atribuyeron la baja digestibilidad de la fibra principalmente al elevado ritmo de paso de la cáscara de soja más que al pH ruminal.

Respecto al tamaño de partícula de la pulpa de remolacha, según Swain y Armentano (1994), el 94,9 % de este tipo de subproducto presenta un tamaño mayor a 1,18 mm. Esta condición, sumada al hecho de presentar un bajo peso específico y una alta capacidad de retención de agua, favorece su tiempo de retención en el rumen y por ende la actividad masticatoria (Van Soest *et al.*, 1991; Bhatti y Firkins, 1995).

Por otro lado, Welch (1982) propone que la consistencia de la digesta en suspensión promueve o retarda la presentación de partículas finas en el orificio reticulorumen. Sutherland (1988) en su modelo relaciona la consistencia de la

digesta en suspensión ruminal con la probabilidad de escape de las partículas, proponiendo que el escape de las partículas disminuye en la medida que la consistencia de esta digesta se incrementa. Al respecto Coppock *et al.* (1985), señalaron que la semilla de algodón, presenta una menor velocidad de paso al quedar atrapada en la digesta ruminal, de ahí que surja la hipótesis que la semilla de algodón es equivalente a la efectividad de la fibra del forraje cuando está a un nivel de inclusión del orden del 15% (Firkins *et al.* 2002). Harvatine *et al.* (2002) determinaron que la ingesta de MS, MO y FND se incrementa con la inclusión de semilla de algodón y concluye que su inclusión por encima de un 15% de la materia seca es una alternativa viable a utilizar bajo condiciones de forraje limitante, en cantidad y calidad.

El salvado y tercerillas de trigo tiene una rápida velocidad de paso considerando las características de su fibra, baja en lignina (2,5% a 3,0%), tamaño de partícula y la capacidad de retención de agua (Feedipedia, 2013).

3.3 Efectividad de la fibra de las fuentes de fibra no forrajera

El concepto de fibra (FND) físicamente efectiva (peFND), considera o relaciona las propiedades físicas y químicas de la fibra que poseen la habilidad de incentivar o estimular la masticación (Grant, 1997; Money y Allen, 1997). Según Swain y Armentano (1994), en términos generales, según las características físicas de las NFFS, éstas tienen aproximadamente solo un tercio de la efectividad que posee el ensilado de alfalfa para activar o incentivar procesos masticatorios.

En este sentido Mertens (1997) propone que la fibra que realmente incentiva una actividad masticatoria está asociada a la fibra de un tamaño mayor a 1,18 mm (peFND>1,18), para lo cual se debe multiplicar la proporción de partículas retenidas en el tamiz de 1,18 mm (Separador de Partículas de la Universidad de Pensilvania) por la concentración de FND de la dieta. Sin embargo, Yang y Beauchemin (2007) encontraron que la proporción de partículas retenidas en el tamiz de 8 mm multiplicado por el contenido de FND de la dieta (peFND>8,0) era

mejor predictor del pH ruminal que el $peFND > 1,18$. Para el caso de las NFFS, Kononoff *et al.* (2003) señalaron que si con la inclusión de NFFS, el 65% de las partículas queda retenida en el tamiz de 8 mm, el rumen mantendrá su función normal. En la Tabla 3 se presenta el valor de $peFND$ para algunas NFFS utilizadas en sistemas de cebo.

Complementario a lo anterior, Vargas *et al.* (1998) sugieren que la FND de una ración se debería incrementar en 2 unidades cuando NFFS son de tamaño fino y participan por sobre de un 10% en la ración. De igual forma Nocek y Russell (1988) recomiendan que es necesario realizar ciertos ajustes en la ración al incluir NFFS en la dieta dado que su FND es sólo un 66% eficiente para estimular la producción de saliva. Al respecto Firkins *et al.* (2002), debido a que el tiempo de permanencia de NFFS en el rumen es menor, sugieren que el contenido de FND de la dieta se debería incrementar en 2 unidades cuando la fibra es aportada por encima del 10% de la dieta a través de NFFS de tamaño fino.

Por otro lado, la recomendación de fibra propuesta por el NRC (2000) y Pitt *et al.* (1996), es válida para una ración en la que la fibra es de origen forrajero, pero es inapropiada cuando la fibra es aportada por NFFS ya que difieren considerablemente en su efectividad para estimular actividad masticatoria, dada la variabilidad de sus características físicas y químicas que afectan su tiempo de retención ruminal (Sudweeks *et al.*, 1981).

En cuanto a las características físicas, existe el concepto de fibra efectiva que ha sido definida como aquella que es capaz de estimular la masticación, la salivación y la rumia (Clark y Armentano, 1993). En cuanto a las químicas, se ha determinado que la FND está relacionada con el tiempo total de masticación para todas las dietas con forrajes y, por lo tanto, asociada al flujo de saliva hacia el rumen (Allen, 1997). Al respecto, Swain y Armentano (1994), señalan que la FND de las NFFS sólo es un 50% efectiva respecto a la FND del forraje, lo cual concuerda con lo que señalan Belyea *et al.* (1989), Clark y Armentano (1993) y Grant (1997) al indicar que todas las NFFS tiene una efectividad relativamente baja. Sin embargo, marcan una diferencia para la semilla y la cáscara de algodón

y la pulpa de cítrico, a quienes les atribuyen mejor efectividad. En la Tabla 3 se presenta el valor de efectividad de la FND de algunas de las NFFS utilizadas en cebo de animales en España.

Tabla 3.- Valor de efectividad del FND (NRC, 1996; Mertens, 1997)

Subproducto	eFND (%FND)
Cascarilla de soja	2,0
Granos y solubles de maíz	4,0
Granos y solubles de cebada	4,0
Pulpa de cítricos	33,0
Pulpa remolacha	33,0
Salvado y tercerillas de trigo	2,0
Semilla algodón	100,0

Considerando los datos presentados en la Tabla 3, se puede señalar que el uso de NFFS no estaría cumpliendo con la relación propuesta por Allen (1997), entre el incremento de la materia seca y de la fibra en la dieta, por una parte, y el tiempo total de masticación y el flujo de saliva hacia el rumen, por otra, durante la ingesta y el descanso. Al respecto, Clark y Armentano (1997) determinaron que la sustitución de la fibra forrajera por las NFFS generó una disminución en el tiempo de rumia, ingesta y masticación, además de cambios en la producción de ácidos grasos volátiles.

En cuanto a la relación que existe entre la efectividad de la fibra forrajera y la que ofrece la cáscara de soja, se ha determinado que ésta tiene 20% de efectividad respecto a un heno de gramínea y solo un 35% respecto del ensilado de alfalfa y maíz (Allshouse *et al.*, 1991; Mertens, 1987). Sobre el mismo punto, Sudweeks *et al.* (1987), en base al tamaño y tipo de fibra de la cáscara de soja, estimaron que ésta debería promover sólo 8,4 minutos de masticación por kilo de MO ingerida.

De acuerdo a los antecedentes entregados por Welch y Smith (1971), se determinó que un novillo Jersey destina a la rumia 36,7 minutos por kilo de

materia seca de pulpa de remolacha, tiempo que se incrementa a 62,4 minutos cuando se utiliza heno de fibra larga. Mientras que el tiempo destinado a esta actividad por kilo de FND va de 65,7 a 92,9 minutos para la pulpa y heno, respectivamente. Considerando estos valores se puede señalar que la pulpa de remolacha tiene un 58,8% y 70,9% de efectividad para inducir rumia respecto al heno si se considera por unidad de materia seca o de FND, respectivamente.

De lo dicho anteriormente se puede afirmar que surge la inquietud de determinar si alguna NFFS es capaz de reemplazar por si sola a la fibra forrajera, lo cual implica evaluar el porcentaje de inclusión requerido para obtener la mejor sustitución.

3.4. El uso de las fuentes de fibra no forrajera en alimentación de los bovinos.

Basado en la características físico-químicas de este tipo de fuente de fibra y considerando su efecto sobre el ambiente ruminal, FEDNA (2010) sugiere como máximo nivel de inclusión en dietas para rumiantes según el tipo de animal, Tabla 4.

Si bien la Tabla 4 resume una gran cantidad de estudios que han determinado el máximo nivel de inclusión, considerando sus efectos sobre los parámetros productivos y ruminales, existen una serie de trabajos que dan mayor información sobre el comportamiento o la respuesta que puede ocurrir en la ingesta y en otras variables ante la inclusión de NFFS, información que se procede a describir a continuación. Esta información se centrará en los efectos causados por tres de las NFFS mencionadas que son las que finalmente se utilizaron en los experimentos realizados: cascarilla de soja, pulpa de remolacha y semilla de algodón.

Tabla 4.- Límite máximo de incorporación de las NFFS en rumiantes (%) (FEDNA, 2010).

	Terneros 60 a 150 kg	Terneros cebo > 150 kg	Recría vacuno	Vaca de carne	Vaca de leche
Cáscara de soja	7	13	32	18	35
Pulpa remolacha	5	9	20	20	22
Semilla algodón	0	5	15	15	12
Cascarilla de algodón	0	2	8	10	2
Cascarilla de girasol	0	2	8	10	2
Pulpa de cítricos	6	11	20	22	20
Granos y solubles de maíz	8	15	22	26	20
Granos y solubles de cebada	3	8	20	22	15
Salvado y tercerillas de trigo	11	14	25	22	18

3.4.1 Cascarilla de soja

MacGregoret *et al.* (1976) y Bernard y McNeill (1991), determinaron que al reemplazar el concentrado de la dieta por cáscara de soja en un 15% y un 23%, ello provocó un incremento en la ingesta de materia seca, siendo atribuida esta respuesta a la alta palatabilidad, digestibilidad y el mayor ritmo de paso que se genera con su inclusión.

Ante la evidencia que este tipo de NFFS incrementa la ingesta de materia seca, Löest *et al.* (2001) se propuso determinar cuál era el máximo consumo de este tipo de subproducto, para lo cual evaluó una dieta para vaquillas de 260 kg PV que contenía cáscara de soja en un 91,6% y su oferta se limitó al 1,5% y 2,5% del peso vivo (PV) de los novillos. Como resultado obtuvo que la digestibilidad de la materia seca fue similar para ambas dietas, sin embargo la ingesta de materia seca, la relación G:F y la ganancia de peso fue menor en la dieta ofrecida al 1,5% PV. Concluye el autor que bajo una condición de oferta *ad libitum* el animal alcanza una ingesta máxima del 2,0% del peso vivo. Este resultado coincide con

el obtenido por Garrigus *et al.* (1967) para terneros de 196 kg, pero difiere con el de Hibberd *et al.* (1987), quienes registraron una ingesta equivalente al 2,9% del PV en terneros de 201 kg. Algo que resulta interesante es que, independientemente de la ingesta de materia seca, la ganancia de peso fue similar al consumir los distintos niveles de NFFS (0,680 y 0,640 kg/día), mientras que la relación G:F, fue superior cuando la ingesta fue del 2.0% del peso vivo (0,139 y 0,101, respectivamente).

Weider y Grant (1994a), obtuvieron el mismo efecto sobre la ingesta al remplazar fibra forrajera por distintos niveles de cáscara de soja (14,1%; 25% y 42%, respectivamente) en dietas para vacas. Sin embargo, con el nivel menor de inclusión disminuyó el tiempo destinado a masticación, mientras que al nivel de inclusión del 42% disminuyó el tiempo de rumia y el pH ruminal (Weider y Grant, 1994b). Para evitar este problema de pH, Firkins y Eastridge (1992) proponen, como condición obligada, el uso de bicarbonato de sodio en dietas que incorporen un porcentaje importante de cáscara de soja en lugar de forraje. Respecto a la disminución del pH, Nakamura y Owens (1989), concluyen que el incremento en la ingesta de materia seca de las dietas que incluyen cáscara de soja se atribuye a la mayor velocidad de paso ruminal, pese a que un incremento de 50% a 95,3% en la ración sólo incrementa la velocidad de paso en un 8%. Sin embargo, la mayor participación de la cáscara de soja en una dieta no afectó la digestibilidad de la materia seca y de la materia orgánica (Trateret *al.*, 2001) pero si es posible mejorar la digestibilidad ruminal de la FND (Cunningham *et al.*, 1993). El efecto positivo que se genera al sustituir el forraje por cáscara de soja se ratifica en el estudio de Meuller *et al.* (2011), quienes incluyeron esta NFFS a niveles de un 45% y 56% sobre una dieta para terneros Angus de 250 kg de peso vivo elaborada en base a ensilado de avena, obteniendo una ganancia de peso de 1,15 y 1,33 kg/día, con una ingesta diaria de 8,49 y 8,22 kg MS/día, lo que significa una relación ganancia de peso: ingesta de materia seca (G:F) de 0,14 y 0,16, respectivamente.

Slater *et al.* (2000), en dietas para vacas reemplazaron ensilado de alfalfa por cáscara de soja a dos niveles de incorporación, 3,4% y 23%. El primer efecto que

se obtuvo fue una disminución del tamaño promedio de partículas de la dieta, en relación a la que contenía fibra forrajera, pero fue similar entre las dos dietas que contenían esta NFFS (2,99, 2,02 y 2,01). A diferencia de estudios antes señalados, la disminución de tamaño de partícula no fue suficiente para afectar la ingesta de materia seca (expresada en kg/día o en % PV) y de FND, ni el tiempo de masticación expresado en minutos al día. Sin embargo, al expresar la masticación en minutos por kg de FND se obtuvo una disminución en las dietas con cáscara de soja, independiente del porcentaje de inclusión.

La mayor ingesta de materia seca y de FND, obtenida en dietas de ovejas que incluyeron distintos niveles de cáscara de soja (10%, 20% y 30%), no se tradujo en mejor ganancia de peso. Por el contrario, se obtuvo una disminución lineal de la relación G:F. Respecto a la rumia, la mayor inclusión de cáscara de soja no la afectó al expresarla como minutos al día o por gramo de MS, pero si disminuyó el tiempo por gramo de FND. Mientras que el tiempo de masticación disminuye al expresarla en minutos por unidad de materia seca ingerida y de FND (Ferreira *et al.*, 2011).

La sustitución de grano maíz por cáscara de soja fue evaluada en sistemas de engorde como una forma de evitar desordenes metabólicos y una reducción en la degradación de la fibra (Ipharraguerre y Clark, 2003). El resultado fue una disminución en la ganancia de peso (de 1,4 a 1,19 kg/día) cuando el maíz es reemplazado por encima del 60%. Esta disminución se debe a la disminución de la densidad energética de la soja frente al maíz, 77% y 88% TDN, respectivamente (Ferreira *et al.*, 2011; Ludden *et al.*, 1995). Por otro lado, se observó un incremento lineal de la ganancia diaria al incrementar la inclusión de cáscara de soja en dietas para engorde de terneros, altas en fibra (Allison *et al.*, 1996).

3.4.2 Pulpa de remolacha

Swain y Armentano (1994), en dietas para vacas que contenían 50% de ensilado de alfalfa y 45% de maíz grano, incluyeron pulpa de remolacha en un 16% sustituyendo el ensilaje. Esta sustitución provocó una disminución en el tamaño de partícula de la dieta, sin embargo no afectó la ingesta de materia seca. Similar resultado obtuvo Voelker y Allen (2003b), quienes sobre una ración para vaca constituida en un 40% de forraje (ensilaje de maíz y alfalfa) y un 60% de concentrado, fueron reemplazando el ensilaje de maíz grano húmedo, contenido en el concentrado, por pulpa de remolacha en distintos niveles de inclusión (6,1%, 12,1% y 24,3%). Esta sustitución no afectó la ingesta de materia seca pese a que la mayor inclusión de pulpa de remolacha mejoraría la digestibilidad de la ración, sin embargo la mayor sustitución de pulpa por ensilaje de maíz favoreció una mayor ingesta de FND al igual que su digestión ruminal en el tracto digestivo.

Beauchemin *et al.* (1991) evaluaron la opción de aumentar la FND de la ración de vacas a través de la inclusión de fuentes de fibra en el concentrado y no alterar la relación forraje: concentrado. Para ello utilizaron una ración base constituida en un 35% por heno de alfalfa y 65% de concentrado en base a cebada. La pulpa de remolacha fue la fuente de fibra y sustituyó a la cebada en un 15% del concentrado. No se registró diferencia en la ingesta de materia seca total ni del concentrado, sin embargo la ingesta de FND se incrementó en la dieta con pulpa de remolacha debido al mayor contenido de FND del concentrado causado por la sustitución de la cebada (23,06% y 26,60%). Esta mayor ingesta de FND, no afectó al tiempo de ingesta ni de rumia diario pero sí disminuyó al expresarlo por kg de FND ingerida. El pH, la producción de VFA y la concentración de butirato fue similar entre las dietas, pero la inclusión de pulpa de remolacha aumentó la concentración de amonio y de acetato y disminuyó la concentración de propionato.

Al igual que los estudios anteriores, Swain y Armentano (1994), tampoco obtuvieron un efecto sobre la ingesta de materia seca, ni en la concentración de acético y propiónico, al sustituir el maíz por la pulpa de remolacha en una dieta a base de ensilado de alfalfa. Sin embargo, se registró un incremento en el tiempo

de masticación (expresado en minutos al día y por kilo de materia seca ingerida) y en la concentración de butirato.

Como se mencionó anteriormente, algunas NFFS son utilizadas además como fuente de energía. Para conocer la respuesta de este tipo de NFFS en este sentido, Bauer *et al* (2007), realizaron un estudio con terneros (282 kg de peso vivo) en donde sustituyeron el maíz seco de la dieta (49%), que incluía además ensilaje de maíz (31,5%) y heno de alfalfa (10%), por pulpa de remolacha en un 20% y 40% de inclusión. Los resultados registraron un incremento en el contenido de FND de la dieta del 28,6%, para la ración sin pulpa, hasta 35,6% y 42,7% para los niveles de 20% y 40% respectivamente. Además se obtuvo una disminución de la ingesta diaria de materia seca y como % del peso vivo, al igual que la ganancia de peso diario, lo que determinó finalmente que la relación G:F fuese similar en todas las dietas. Para estas dietas la energía neta para mantenimiento y para ganancia fue similar en los tres niveles. Posteriormente, con animales de mayor peso (411 kg) mantuvieron el objetivo de sustituir la fuente energética por pulpa de remolacha para lo cual utilizaron una dieta que contenía 10% de heno de bromo, 45% de maíz seco y 40% de ensilaje de maíz grano húmedo, que fue sustituido por pulpa de remolacha en un 5%, 12,5% y 20%. Como resultado obtuvieron que la ingesta de materia seca se mantuvo similar para los dos primeros niveles para luego disminuir, sin embargo la ganancia de peso, la relación G:F y la energía aparente para mantenimiento y ganancia de peso disminuye en la medida que aumenta la participación de la pulpa de remolacha en la dieta. Los autores indican además que pese a que la ingesta de materia seca disminuyó, no se registró un menor volumen y masa del contenido ruminal. Ello es debido a que se incrementó el consumo de agua, al incluir mas pulpa de remolacha, lo que en definitiva lleva a pensar que bajo esta condición se activan los receptores de la pared ruminal que indican saciedad y, por ende, detienen la ingesta de alimento (Voelker y Allen, 2003a). En cuanto a la respuesta negativa que se obtiene en la ganancia de peso, se sugiere que la explicación estaría dada por la menor ingesta de almidón, ya que el ensilaje de grano húmedo de maíz contiene un 70,5% de almidón mientras que la pulpa solo dispone de un 3,9%.

3.4.3 Semilla de algodón

En cuanto a la semilla de algodón, se ha determinado que 100 ppm es el nivel máximo de gossipol libre que puede contener un pienso para un ternero prerumiante, 200 ppm en piensos para terneros en transición y postdestete, y 600 ppm para terneros de más de 24 semanas (Abel-Caines *et al.*, 1997).

El efecto que tiene la inclusión de semilla de algodón sobre la producción de ácidos grasos volátiles es poco concluyente. Harvatine *et al.* (2002), registraron la producción de VFA en vacas sometidas a una ración de ensilaje de alfalfa (53%), soja (12%) y maíz molido (30%), en donde el ensilaje fue sustituido por semilla de algodón (5%, 10% y 15% de la ración). Esta inclusión provocó una disminución del ácido acético, pese a que esta sustitución generó un incremento en la ingesta de FND. Por su parte el butirato se mantuvo constante y el propiónico se incrementó al igual que la concentración de nitrógeno amoniacal. Sin embargo, pese a la mayor ingesta de FND, el pH disminuyó, lo cual fue atribuido a la mayor oferta de MO y a la disminución en la capacidad de intercambio catiónico que se produce al disminuir la participación del ensilado de alfalfa (Van Soest *et al.*, 1991). Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Keele *et al.* (1989), quienes al incluir semilla de algodón en un 12,7% y un 25,3%, obtuvieron un aumento en la concentración de acético y una disminución del butírico, sin afectar la proporción de propiónico. En este estudio, la respuesta obtenida con el acético y el propiónico fue atribuida a la disminución de la población de protozoos en el rumen.

La inclusión de semilla de algodón en la dieta implica suministrar una mayor cantidad de C16:0, C18:1 y C18:2, y una menor cantidad de C18:3. Al respecto, este tipo de NFFS contienen menos de un 0,5% de C18:3 y un 25,3% de C16:0 (Smith *et al.*, 1981; Huerta-Leidenz *et al.*, 1991; Harvatine *et al.*, 2002). Cabe señalar que el proceso de masticación expone a los ácidos grasos insaturados contenidos en la semilla de algodón a la hidrogenación (Smith *et al.*, 1981 y Keele *et al.*, 1989). El caso puntual de la biohidrogenación del C18:0 se incrementa linealmente con el incremento de WCS en la dieta y disminuye linealmente el pH ruminal (Harvatine *et al.*, 2002).

Cranston *et al.* (2006), evaluaron la semilla de algodón como fuente de energía, al sustituir el maíz en dietas para novillos (382 kg). Como resultado encontraron una disminución de la densidad energética de la ración y un incremento de la FND de la misma. Si bien se incrementó la ingesta de materia seca, no hubo efecto en la ganancia de peso (1,56 kg/día), por lo que la relación G:F disminuyó al igual que el rendimiento de la canal. Los autores argumentan que la diferencia de rendimiento está asociada al incremento lineal que presenta la materia seca ruminal al incrementar la participación de semilla de algodón en la dieta (Harvatine *et al.*, 2002; Cranston *et al.*, 2006).

De los trabajos realizados evaluando la inclusión de semilla de algodón, la mayoría concluyen que su oferta incrementa la ingesta de materia seca, salvo el desarrollado por Huerta-Leidenz *et al.* (1991), quienes determinaron un efecto negativo en la ingesta y en la ganancia de peso (1,15 y 1,03 kg/d) al aumentar de un 15% a un 30% la incorporación de semilla de algodón en la dieta. Aumentar la semilla de algodón no afectó el rendimiento de la canal (58% y 57%, respectivamente), ni tampoco la concentración de C_{14:0}, C_{16:0}, C_{18:0}, C_{18:1}, C_{18:3}, SFA, UFA, MUF, pero si aumentó el C_{18:2} y los PUFA. Al igual que el estudio anterior, sustituir heno por semilla de algodón a niveles crecientes (5%, 10% y 15%) no afectó la ingesta de materia seca, ni en la digestibilidad de la fibra, pero se incrementó la digestibilidad de la proteína, de la energía y del extracto etéreo (Smith *et al.*, 1981). Estos resultados son concordantes con los obtenidos por Keele *et al.* (1989), al sugerir que la semilla de algodón se puede incluir hasta un 25% de la dieta sin afectar la digestibilidad de la fibra, considerando el aumento de extracto etéreo.

De acuerdo a Clark y Armentano (1993) y Harvatine *et al.* (2002), la semilla de algodón posee características físico-química que permiten generar un mayor incentivo en la actividad masticatoria respecto de otras NFFS. Al respecto Money y Allen (1997) en su estudio determinaron la efectividad de la semilla de algodón a través del reemplazo de este subproducto por ensilaje de alfalfa de distinto tamaño de partículas. Como resultado obtuvieron que el FND de la semilla de algodón tiene un 50% de efectividad respecto a un ensilaje de alfalfa que posee

un tamaño de partículas promedio de 11,4 mm y aumenta a 127% cuando el tamaño promedio disminuye a 5,8 mm. Adicionalmente Mertens (1987), determinó que la efectividad para incentivar la masticación de esta NFFS, respecto a un heno de gramínea, puede alcanzar a un 85%.

Abel-Caines *et al.* (1997), sobre una dieta para vaca basada en ensilado de alfalfa (17,5%) y maíz (30%), evaluaron la opción de utilizar como fuente de fibra la semilla de algodón (15%) o la cáscara de soja (8%). No se registró diferencia en la ingesta total de materia seca ni de FND, sin embargo el tiempo de ingesta fue mayor para la dieta con cascara de soja y el tiempo destinado a rumia y masticación fue un 41,4% y 19,0% superior para el tratamiento de semilla algodón.

4. Referencias bibliográficas

- Abel-Caines S. F., R. J. Grant, And S. G. Haddad. 1997. Whole cottonseeds or a combination of soybeans and soybean hulls in the diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:1353-1357
- Allison, B. A., R. L. McCraw, and M. H. Poore. 1996. Optimal level of soybean hulls in mixed hay-based diets for growing cattle. *J. Anim. Sci.* 74(Suppl. 1):4.
- Anderson, S. J., J. K. Merrill, M. L. McDonnell, and T. J. Klopfenstein. 1988. Digestibility and utilization of mechanically processed soybean hulls by lambs and steers. *J. Anim. Sci.* 66: 2965.
- 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. *J. Dairy Sci.* 89:3133–3142
- Arieli A., A Ben-Moshe, S. Zamwel, And H. Tagari. 1989. In situ evaluation of the ruminal and intestinal digestibility of heat-treated whole cottonseeds. *J. Dairy Sci.* 72:1228-1233
- Allshouse, R. D., J. G. Welch, R. H. Palmer, and A. M. Bueche. 1991. Effect of source of neutral detergent fiber on rumination activity in steers fed hay, oat hulls, and soy hulls. *J. Dairy Sci.* 74(Suppl. 1):186.(Abstr.)
- Allen M. S. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80:1447-1462
- Allen, D. M. and R. J. Grant. 2000. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:322–331.

- Armentano L. E. And M. R. Dentine. 1988. Wet corn gluten feed as a supplement for lactating dairy cattle and growing heifers. *J Dairy Sci.* 71:990-995
- Beauchemin, K. A., B. I. Farr, And L. M. Rode. 1991. Enhancement of the effective fiber content of barley-based concentrates fed to dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3128.
- Belyea, R. L., B. J. Steevens, R. J. Restrepo, and A. P. Clubb. 1989. Variation in composition of by-product feeds. *J. Dairy Sci.* 72:2339.
- Bernard, J. K. and W. W. McNeill. 1991. Effects of high fiber energy supplements on nutrient digestibility and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:991
- Bhatti, S. A., And J. L. Firkins. 1994. Kinetics of hydration and functional specific gravity of fibrous feed by-products. *J. Anim. Sci.* 73:1449.
- Bradford B. J., C. R. Mullins. 2012. Strategies for promoting productivity and health of dairy cattle by feeding non-foragefiber sources. *J. Dairy Sci.* 95:4735-4746
- Calhoun, M., and C. Holmberg. 1991. Safe use of cotton by-products as feed ingredients for ruminants: A review. Pages 97–129 in *Cattle Research with Gossypol Containing Feeds*. L. A. Jones, D. H. Kinard, and J. S. Mills, ed. Natl. Cottonseed Products Assoc., Memphis, TN.
- Clark, P. W., and L. E. Armentano. 1993. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillersgrains compared with alfalfa haylage. *J. Dairy Sci.* 76:2644–2650.
- Clark P.R., And L. E. Armentano. 1997. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of non-foragefiber sources. *J. Dairy Sci.* 80:675-680

- Clark, J. H., and C. L. Davis. 1980. Some aspects of feeding high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 63:873.
- Coppock C, E., J. R. Moya, J. W. West, D. H. Nave, And J. M. Labore. 1985. Effect of lint on whole cottonseed passage and digestibility and diet choice on intake of whole cottonseed y Holstein cows. *J Dairy Sci.* 68:1207-1214
- Cranston J. J., J. D. Rivera, M. L. Galyean, M. M. Brashears, J. C. Brooks, C. E. Markham, L. J. McBeth and C. R. Krehbiel. 2006. Effects of feeding whole cottonseed and cottonseed products on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84:2186-2199.
- Cunningham, K. D., M. J. Cecava, and T. R. Johnson. 1993. Nutrient digestion, nitrogen, and amino acid flows in lactating cows fed soybean hulls in place of forage or concentrate. *J. Dairy Sci.* 76:3523–3535.
- Erdman, R. A., J. H. Vandersall, R. E. Russek-Cohen, and G. Switalski. 1987. Simultaneous measures of rates of ruminal digestion and passage of feeds for prediction of ruminal nitrogen and dry matter digestion in lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.* 64:565.
- 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. 502 pp
- Feedipedia - Animal Feed Resources Information System – INRA CIRAD AFZ and FAO. 2013. [HTTP://www.feedipedia.org/](http://www.feedipedia.org/).
- Ferreira E. M., A. V. Pires, I. Susin, C. Q. Mendes, R. S. Gentil, R. C. Araujo, R. C. Amaral. and S. C. Loerch. 2011. Growth, feed intake, carcass characteristics, and eating behavior of feedlot lambs fed high-concentrate diets containing soybean hulls. *J. Anim. Sc.* 89:4120-4126.

- Fellner, V. and R. L. Belyea. 1991. Maximizing gluten feed in corn silage diets for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74: 996-1005
- Firkins, J. 1997. Effects of Feeding non-forage fiber sources on site of fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 80:1426–1437
- Firkins J. L., D. I. Harvatine, J. T. Sylvester, and M. L. Eastridge. 2002. Lactation performance by dairy cows fed wet brewers grains or whole cottonseed to replace forage. *J. Dairy Sci.* 85:2662–2668
- Firkins, J. L., M. L. Eastridge, and D. L. Palmquist. 1991. Replacement of corn silage with corn gluten feed and sodium bicarbonate for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:1944.
- Froetschel, M. A., and H. E. Amos. 1991. Effects of dietary fiber and feeding frequency on ruminal fermentation, digesta waterholding capacity, and fractional turnover of contents. *J. Anim. Sci.* 69:1312.
- Garleb, K. A., G. C. Fahey, Jr., S. M. Lewis, M. S. Kerley, and L. Montgomery. 1988. Chemical composition and digestibility of fiber fractions of certain byproduct feedstuffs fed to ruminants. *J. Anim. Sci.* 66:2650.
- Garrigus, R. R., C. O. Little, and N. W. Bradley. 1967. Soybean hulls fed in different physical forms as wintering rations for steers. *J. Anim. Sci.* 26:836–838.
- Grant, R. J. 1997. Interactions among forages and non forage fiber sources. *J. Dairy Sci.* 80:1438-1446
- Harvatine D. I., J. L. Firkins, And M. L. Eastridge. 2002. Whole linted cottonseed as a forage substitute fed with ground or steam-flaked corn: digestibility and performance. *J. Dairy Sci.* 85:1976–1987

- Hibberd, C. A., F. T. McCollum, and R. R. Scott. 1987. Soybean hulls for growing beef cattle. *Anim. Sci. Res. Rep.*, Oklahoma Agric. Exp. Sta. pp 248–251.
- Hintz, H. F., M. M. Mathias, H. F. Ley, Jr., and J. K. Loosli. 1964. Effects of processing and of feeding hay on the digestibility of soybean hulls. *J. Anim. Sci.* 23:43–46.
- Hsu, J. T., D. B. Faulkner, K. A. Garleb, R. A. Barclay, G. C. Fahey, Jr., and L. L. Berger. 1987. Evaluation of corn fiber, cottonseed hulls, oat hulls, and soybean hulls as roughage sources for ruminants. *J. Anim. Sci.* 65:244–255.
- Huerta-Leidenz N. O., H. R. Cross, D. K. Lunt, L. S. Pelton, J. W. Savell and S. B. Smith. 1991. Growth, carcass traits, and fatty acid profiles of adipose tissues from steers fed whole cottonseed. *J. Anim. Sci.* 69:3665-3672.
- Ipharraguerre, I. R., and J. H. Clark. 2003. Soyhulls as an alternative feed for lactating dairy cows: A review. *J. Dairy Sci.* 86:1052–1073.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. Symposium: Advances in ruminant lipid metabolism. *J. Dairy Sci.* 76:3851-3863
- Johnson, R. R., E. W. Klosterman, and H. W. Scott. 1962. Studies on the feeding value of soybran flakes for ruminants. *J. Anim. Sci.* 21:406–411.
- Journet, M., and B. Remond. 1976. Physiological factors affecting the voluntary intake of feed by cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 3:129.
- Kaske, J., and W. von Englehardt. 1990. The effect of size and density on mean retention time of particles in the gastrointestinal tract of sheep. *Br. J. Nutr.* 63:683.

- Keele, J. W., R. E. Roffler and K. Z. Beyers. 1989. Ruminant metabolism in nonlactating cows fed whole cottonseed or extruded soybeans. *J. Anim. Sci.* 67:1612-1622.
- Kononoff, P. J., and A. J. Heinrichs. 2003a. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 86:2438–2451.
- Löest C. A., E.C. Titgemeyer, J.S.Drouillard, D.A.Biasi and D.J.Bindel. 2001. Soybean hulls as a primary ingredient in forage-free diets for limit-fed growing cattle. *J. Anim. Sci.* 79:766-774.
- Ludden, P. A., M. J. Cecava, and K. S. Hendrix. 1995. The value of soybean hulls as a replacement for corn in beef cattle diets formulated with or without added fat. *J. Anim. Sci.* 73:2706– 2711.
- MacGregor, C. A., F. G. Owen, and L. D. McGill. 1976. Effect of increasing ration fiber with soybean mill run on digestibility and lactation performance. *J. Dairy Sci.* 59:682.
- Martin, S. K., and C. A. Hibberd. 1990. Intake and digestibility of low-quality native grass hay by beef cows supplemented with graded levels of soybean hulls. *J. Anim. Sci.* 68:4319–4325
- Mena H., J. E. P. Santos, J. T. Huber, M. Tarazon, and M. C. Calhoun. 2004. The effects of varying gossypol intake from whole cottonseed and cottonseed meal on lactation and blood parameters in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:2506-2518
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J Dairy Sci.* 80:1463–1481

- Mooney C. S. And M. S. Allen. 1997. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linted cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. *J. Dairy Sci.* 80:2052-2061
- Murphy, M. R., P. M. Kennedy, And J. G. Welch. 1989. Passage and rumination of inert particles varying in size and specific gravity as determined from analysis of faecal appearance using multicompartiment models. *Br. J. Nutr.* 62:481.
- Mueller C. J., H. M. Blalock And R. H. Pritchard 2011. Use of soybean hulls as a replacement for dry rolled corn in beef cattle feedlot receiving diets. *J. Anim. Sci.* 2011, 89:4142-4150.
- Nakamura.T. and F. G. Owen. 1989. High amounts of soy hulls for pelleted concentrate diets. *J. Dairy Sci.* 72:988.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. Update 2000. National Academy Press. Washington, D. C.
- National Research Council. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Update 2000. National Academy Press. Washington, D. C.
- Nocek, J. E., and J. B. Russell. 1988. Protein and energy as an integrated system: relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71:2070.
- Pena F., H. Tagari and L. D. Setter. 1986. The Effect of heat treatment of whole cottonseed on site and extent of protein digestion in dairy cows. *J. Anim. Sci.* 62:1423-1433.
- Pantoja, J.; J. L. Firkins, M. L. Eastridge, And B. L. Hull. 1994. Effects of fat saturation and source of fiber on of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:2341-2356

- Pitt, R. E., J. S. Van Kessel, D. G. Fox, M. C. Barry, And P. J. Van Soest. 1996. Prediction of ruminal volatile fatty acids and pH within the net carbohydrate and protein system. *J. Anim. Sci.* 74:226-244
- Quicke. G. V., C. G. Bentley, H. W. Scott, R. R. Johnson, and A. L. Moxon. 1959. Digestibility of soybean hulls and flakes and the in vitro digestibility of the cellulose in various milling by-products. *J. Dairy Sci.* 42: 185-186.
- Sarwar, M., J. L. Firkins, and M. L. Eastridge. 1991. Effect of replacing neutral detergent fiber of forage with soyhulls and corn gluten feed for dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 74:1006.
- Siciliano-Jones, J., and MR. Murphy. 1991. Specific gravity of various feedstuffs as affected by particle size and in vitro fermentation. *J. Dairy Sci.* 74:896.
- Slater A. L., M. L. Eastridge, J. L. Firkins, and L. J. Biding. 2000. Effects of starch source and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:313-321
- Smith N. E., L. S. Collar, D. L. Bath, W. L. Dunkley y A. A. Franke. 1981. Digestibility and effect of whole cottonseed fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 64: 2209-2215
- Spahr, S. L. 1977. Optimum rations for group feeding. *J. Dairy Sci.* 60:1337.
- Sudweeks. E. M., L. O. Ely, D. R. Mertens and L. R., Sisk. 1981. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: roughage value index system. *J. Anim. Sci.* 53:1406.
- Sudweeks, E. M., L. O. Ely, D. R. Mertens and L. R. Sisk. 1981. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: Roughage value index system. *J. Anim. Sci.* 53:1406-1411

- Sutherland, T. M. 1988. Particle separation in the for stomachs of sheep. Page 43 in *Aspects of Digestive Physiology in Ruminants*. A. Dobson and M. J. Dobson, ed. Comstock Publ. Assoc. Ithaca, NY
- Sullivan, M. L., K. N. Grigsby, and B. J. Bradford. 2011. Effects of corn gluten feed and effective NDF on ruminal pH and productivity of lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 94(E-Suppl. 1):455. (Abstr.)
- Stock, R. A., J. M. Lewis, T. J. Klopfenstein, and C. T. Milton. 2000. Review of new information on the use of wet and dry milling feed by-products in feedlot diets. *J. Animal Sci.* 77 (E-Suppl.): 1-12
- Swain S. M And L. E. Armentano. 1994. Quantitative evaluation of fiber from non-forage Sources Used to Replace Alfalfa Silage. *J. Dairy Sci.* 77:2318-2331
- Trater A. M., E. C. Titgemeyer, C. A. Löest and B. D. Lambert. 2001. Effects of supplemental alfalfa hay on the digestion of soybean hull-based diets by cattle. *J. Anim. Sci.* 2001, 79:1346-1351.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583.
- Varga G. A., H. M. Dann, And V. A. Ishler. 1998. The use of fiber concentrations for ration formulation. *J. Dairy Sci.* 81:3063-3074
- Voelker, J. A., and M. S. Allen. 2003a. Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 1. Effects on feed intake, chewing behavior, and milk production in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:3542–3552.
- Voelker J. A. and M. S. Allen. 2003b. Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 2. Effects on digestion and ruminal digestion kinetics in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:3553–3561

- Wangsness, P. J., and L. D. Muller. 1981. Maximum forage for dairy cows: review. J. Dairy Sci. 64:1.
- Weiss, W. P. 2012. Use of a corn milling product in diet for dairy cows to alleviate milk fat depression. J. Dairy Sci. 95:2081-2090
- Yunker, R. S., S. D. Winland, J. L. Firkins and B. L. Hull. 1998. Effects of replacing forage fiber on non-fiber carbohydrates with dried brewers grains. J. Dairy Sci. 81:2645-2656.
- Wattiaux, M. A., D. R. Mertens, and L. D. Satter. 1992a. Kinetics of hydration and effect of liquid uptake on specific gravity of small hay and silage particles. J. Anim. Sci. 70:3597.
- Weidner, S. J., and R. J. Grant. 1994. Soyhulls as a replacement for forage fiber in diets for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 77:513–521.
- Weidner, S.J., and R. J. Grant. 1994b. Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 77:522–531.
- Welch J. G., And A. M. Smith. 1971. Effect of beet pulp and citrus pulp on rumination activity. J. Anim. Sci. vol. 33, no. 2
- Welch, J. G. 1982. Rumination, particle size and passage from the rumen. J. Anim. Sci. 54:885-894
- Yang, W. Z. and K. A. Beauchemin. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Digestion and milk production. J. Dairy Sci. 90:3410–3421

Zhang Wen-Ju, Zi-Rong Xu, Xiao-Liang Pan, Xiang-Hua Yan, Yan-bo Wang. 2007.
Advances in gossypol toxicity and processing effects of whole cottonseed in
dairy cows feeding. *Livestock Science* 111: 1–9

Capítulo II.

Objetivos

1. Objetivos

Durante la última década los sistemas de cebo de terneros en España han sido sometidos a periodos críticos debido al alza de los precios de los granos. En este escenario los ganaderos que utilizan tradicionalmente dietas constituidas por pienso de alta concentración energética y paja entera de cereal han optado por buscar diferentes alternativas para reducir los costes de producción.

Con el propósito de continuar aportando información que permita mantener una eficiencia productiva y económica de los sistemas de cebo, se ha planteado esta tesis que tiene como objetivo general:

Proponer alternativas al sistema de alimentación clásico de los cebaderos de terneros que permitan mejorar la respuesta productiva y el bienestar de los animales en cebo, cuando éstos están sometidos a raciones de alta concentración energética mediante la utilización de fuentes alternativas de fibra. Sin embargo, la utilización de estas fuentes de fibra, reemplazando el uso de la paja cereal, será sólo posible si las mismas son capaces de promover la rumia al mismo nivel que lo hace la paja, no alterando la estabilidad del ecosistema ruminal y el bienestar de los animales, sin por ello afectar los resultados productivos.

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

- Evaluar la incorporación de paja de cereal en dietas de cebo de terneras a través de dietas mixtas completas y su efecto sobre la ingestión, los resultados productivos y el comportamiento de alimentación y de mantenimiento de los animales.
- Determinar el efecto de la inclusión de fuentes de fibra no forrajera en dietas mixtas completas sobre la ingestión, la fermentación ruminal y el comportamiento de alimentación y de mantenimiento de terneras en cebo.

- Realizar una evaluación productiva en condiciones de cebadero, de la comparación entre el hecho de dar la paja de cereal, ya sea por separado o bien mezclada con el pienso en una dieta mixta completa, o bien dando una fuente de fibra no forrajera, estudiando los efectos sobre los resultados productivos, el comportamiento de alimentación y de mantenimiento, y la calidad de la canal y de la carne de terneras en cebo.

Capítulo III

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

Basado en el artículo publicado en Animal (2012) 69:1483-1490

1 Abstract

Eight Simmental heifers (114 ± 3.2 days old and weighing 118 ± 3.8 kg BW) were used to study the effects of feeding method on intake and animal behaviour in a crossover design experiment. Treatments consisted of feeding concentrate and chopped barley straw as: 1) choice (**CH**; concentrate and straw in separate feedbunks), or 2) total mixed ration (**TMR**; concentrate and straw in one feedbunk). Feeds were offered on an *ad libitum* basis, but always maintaining a concentrate to straw ratio of 90 to 10. The experiment was performed in two 21-day periods, and sampling was carried out in the last week of each period. At the end of each period, heifers changed treatment, so the final number of animals per treatment was eight. Intake was recorded over seven consecutive days. Body weight was recorded at the beginning and the end of the experiment and on day 21 of each experimental period. Barley straw was coarsely chopped with a chopping machine. Once chopped, all the straw was handled for particle size separation using the 2-screen Penn State Particle Separator and only material of more than 8 mm was used to feed the heifers. Animal behaviour was video-recorded for 24-h on day 2 and day 6 of each experimental period. Concentrate intake and total DMI of heifers fed with the CH feeding method were higher ($P < 0.01$ and $P < 0.05$) than when fed with TMR (5.1 and 5.3 vs 4.7 and 5.0 kg DM/day, respectively). Conversely, barley straw was consumed in higher amounts in heifers fed with the TMR feeding method (0.3 vs 0.2 kg DM/day, respectively; $P = 0.001$). Total NDF intake was similar in both treatments. In contrast, NDF intake from barley straw and physically effective NDF intake were higher in heifers fed with the TMR feeding method than when fed with CH. Feeding method used to feed heifers did not affect the consumption of the different kinds of barley straw particles. Feeding method did not affect eating and drinking behaviours but ruminating behaviour was affected by feeding method. Heifers fed TMR spent more time ruminating than heifers fed concentrate and barley straw separately (376 vs 287 min/day, respectively; $P < 0.01$). Total mixed ration as feeding method in intensive beef production systems could be a good approach to promote roughage intake.

Keywords:behaviour, feeding method, growing heifers, high-concentrate diet

Implications

Calves fed high concentrate diets in intensive beef production systems consume low amounts of forage when dietary components are offered separately. Total mixed ration could be a good way of promoting greater intake of roughage component, because when concentrate and barley straw were mixed, animals consumed a bigger amount of roughage than when offered separately, and heifers also spent a longer time ruminating. The promotion of rumination is, at the same time, a way to reduce the risk of ruminal acidosis when this feeding method is used.

2 Introduction

Ruminants require roughage in their diets to maximize production and to maintain health by sustaining a stable environment in the rumen (Allen, 1997). Of particular importance is the regular intake of fibrous material, and the extent to which ruminants exhibit an appetite for fibre is also relevant. Given free choice between forage and concentrates, cattle take about 20% of their dry matter intake as forage (Forbes and Provenza, 2000). However, young cattle fed diets based on concentrate and barley straw both offered *ad libitum* and separately, consume the roughage in a much lower proportion. Devant *et al.* (2000) reported that the concentrate:barley straw ratio decreased from 95:5 to 92:8 in Friesian crossbred heifers from 80 to 230 kg body weight. González *et al.* (2008), working with Friesian heifers from 140 to 380 kg body weight in feedlot conditions, reported an average concentrate:straw ratio of 89:11 when both ingredients were also offered separately and on an *ad libitum* basis.

Chewing time is strongly related to forage content and forage particle size (Colebrander *et al.*, 1991.). Physically effective fibre is the fraction of feed that stimulates chewing activity. Chewing, in turn, stimulates saliva secretion. Bicarbonate and phosphate buffers in saliva neutralize acids produced by fermentation of organic matter in the rumen. The balance between the production of fermentation acid and buffer secretion is a major determinant of ruminal pH.

Low ruminal pH may decrease intake, fibre digestibility, and microbial yield and thus affect animal performance and increase feed costs. Diets should be formulated to maintain adequate mean ruminal pH, and its variation should be minimized by feeding management (Allen, 1997).

A free-choice feeding method partially mimics nature and facilitates selection based on nutrient requirements that fluctuate along with feed quality and availability (Provenza, 1996). Animals can more efficiently meet their individual needs for macronutrients when offered a choice among dietary ingredients than when constrained to a single diet, even if it is nutritionally balanced (Atwood *et al.*, 2001). In contrast, when rations are chopped and mixed, these components become increasingly difficult for animals to separate. Atwood *et al.* (2001) working with fattening calves found that animals offered the mixed ration tended to eat more than animals offered a free-choice but they did not gain at a faster rate. Calves restricted to the total mixed ration ate a constant ratio of protein to energy, whereas animals offered a choice fluctuated throughout the trial. Moreover, providing feed components as a total mixed ration increased the distribution of dry matter intake over the course of the day and reduced the amount of sorting in young dairy heifers (DeVries and von Kerserlingk, 2009). We hypothesized that young cattle fed diets based on concentrate and barley straw by means of total mixed rations could increase the amount of roughage intake and the chewing activity, reducing the risk of ruminal acidosis. The objective of the present experiment was to compare the intake and feeding behaviour of individually housed beef female calves, offered a total mixed ration or dietary components separately. Moreover, we wanted to ascertain if there was sorting and if the feeding method affected this activity.

3 Materials and Methods

Animal procedures were approved by the Institutional Animal Care and Use Committee of the Universitat Autònoma de Barcelona.

3.1 Animals, experimental design and housing

Eight Simmental heifers (114 ± 3.2 days old and with an average initial BW of 118 ± 3.8 kg) were purchased in a commercial market and used in a crossover experimental design in spring 2010. Treatments consisted of feeding concentrate and chopped barley straw as: 1) choice (**CH**; concentrate and straw in separate feedbunks), or 2) total mixed ration (**TMR**; concentrate and straw in one feedbunk). Feeds were offered on an *ad libitum* basis, but always maintaining a concentrate to straw ratio of 90 to 10. The ratio of the CH diet was maintained by adjusting the amount of concentrate and straw allocated each day based on the actual intake of the previous day. Heifers were assigned to each treatment on the basis of BW to obtain two groups with the same average BW and standard error. Four animals received concentrate and barley straw that were offered separately, while the other 4 received concentrate and barley straw as total mixed ration. The experiment was performed in two 21-day periods, and sampling was carried out in the last week of each period. At the end of the first period, animals changed treatment so the final number of animals in each treatment was eight.

Animals were allotted in eight individual roofed pens. Each pen had a concrete floor and was 5 m long and 2.5 m wide ($12.5 \text{ m}^2/\text{pen}$). Each pen had a 6.25 m^2 resting area, bedded with wood shavings and 6.25 m^2 of feeding area. There were two feedbunks in pens for heifers fed the concentrate and barley straw separately, and one feedbunk for those fed the mixed ration. The feeders were placed at the front of the 2.5 m wide feeding area. One water trough was placed beside the feedbunk. The adjacent pens were separated by a metal fence with a bar design that allowed contact between animals.

3.2 Feed, water supply and data collection

The concentrate was formulated according to the National Research Council (1996) to meet the requirements of beef heifers weighing 150 kg and growing 1.4 kg/day. Ingredients and chemical composition of the concentrate are shown in Table 1. All ingredients of the concentrate were ground through a 3-mm screen and mixed. Barley straw was coarsely chopped with a chopping machine and contained 94.4% DM, 93.6% OM, 3.1% CP, 81.9% NDF and 51.3% ADF, on a DM basis. Once chopped, all the straw was handled for particle size separation using the 2-screen Penn State Particle Separator (PSPS; Lammers *et al.*, 1996) and only material of more than 8 mm was used to feed the heifers. Feeders were cleaned and orts collected at 0830 h each morning, and feed offered once daily at 0900 h. Straw samples were taken on days 2, 4, and 6, for the straw offered, and daily for the straw refused, just before cleaning the feedbunks. These samples were taken for DM determination, chemical analysis and particle size separation. Particle size separation was performed using the 2-screen PSPS. To separate the straw refused in TMR from the concentrate refused, the mixed orts were sieved in two sequential processes. First, the 2-screen PSPS was used, with the assumption that the material harvested in the top screen (19 mm) and in the second screen (8 mm) was refused straw. Secondly, the material harvested in the first process from the bottom pan was again sieved through the 8 mm screen, to assure that all the straw refused was retained by the pan. In these two processes, the PSPS was only used as a sieving device without applying the shaker procedure proposed by the PSPS user's manual. Orts were weighed before feeding and the diet offered was 115% of the previous day's intake. To register water consumption, individual drinking cups fitted with a measuring scale were used. Water was available at all times.

Table 1. Ingredients and chemical composition (g/kg DM) of concentrate.

Ingredients (g/kg DM)	
Barley	381
Corn	381
Soyabean meal	128
Sunflower meal	29
Sugar cane molasses	50
Calcium soap ¹	10
Sodium bicarbonate	10
Calcium carbonate	4
White salt	3
Vitamin-mineral premix ²	4
Chemical composition (g/kg DM)	
DM, %	96.5
OM ³	951
Ash	49
CP	156
EE ⁴	31
NDF	128
ADF	55
NFC ⁵	636

¹ Magnapac® (Norel Animal Nutrition, Madrid, Spain)

² Nutral 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 vitamin 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 Organic matter: calculated as DM minus ash content

⁴ EE: ether extract content

⁵ NFC: non-fiber carbohydrates calculated as 100 – (CP + ash + NDF + EE)

3.3 Data collection and analyses

Body weight was recorded before feeding and after withdrawal of refusals on two consecutive days at the start and the conclusion of the experiment. Intermediate weights were taken at the end of the experimental week for the calculation of average daily gain (**ADG**) and feed to gain ratio. Concentrate and barley straw orts, separately or mixed, were collected daily for seven consecutive days and composited for each heifer to calculate nutrient intake. Samples were analyzed for DM content, in order to record daily feed dry matter intake. Dry matter content of offered feed and refusals were determined by drying samples for 24 h at 103 °C in a forced-air oven according to Association of Official Analytical Chemist (**AOAC**, 1990). Feed offered and refusal samples were dried in a forced air oven at 60 °C for 48 h for later chemical analysis. Feeds and refusals were ground in a hammer mill through a 1-mm screen (P. PRAT SA, Sabadell, Spain) and retained for analysis of DM (AOAC, 1990; ID 950.01) and ash (AOAC, 1990; ID 942.05). Nitrogen content was determined by the Kjeldahl procedure (AOAC, 1990; ID 976.05). Organic matter was calculated as the difference between DM and ash content. 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 α -amylase. Sodium sulphite was used to determine NDF content of concentrate but not for the determination of NDF content of barley straw. Dry matter and nutrient daily intake were calculated as the difference between amount of DM or nutrient offered and refused. Physically effective NDF (**peNDF**) was calculated by multiplying the straw intake by the proportion of straw greater than 8 mm in length and by the NDF content of the straw.

Sorting of the particle size in the roughage ingredient was calculated as the actual intake of each fraction expressed as a percentage of the predicted intake, where predicted intake of Y fraction equals the product of as-fed intake and as-fed fraction of Y fraction in the roughage ingredient. Values <100% indicate selective refusals, >100% is preferential consumption, and =100% is no sorting (Leonardi and Armentano, 2003).

3.4 Animal behaviour

To register animal behaviour throughout the day, a digital video-recording device was set up close to the pens (model VS-101P VioStor NVR, QNAP Systems Inc., Xizhi City, Taipei County, Taiwan). A digital colour camera (model VIVOTEK IP7142, VIVOTEK INC., Chung-HO, Taipei County, Taiwan) was allocated in front of the feeding area of each pen at a height of 3 m. An infrared light with photoelectric cells was set at each end of the paddock to allow video-recording at night ($\lambda = 830$ nm and 500 W; Dennard 2020, Hants, UK). Animal behaviour was video-recorded for 24-h on day 2 and day 6 of each experimental period. Data processing was carried out by continuous sampling for behaviour of each heifer. The behavioural categories used were mutually exclusive and as defined later. Recorded activities were registered together with their beginning and ending times. Data for each activity is presented as the total time, expressed in minutes, in which the animal maintained this specific activity.

Chewing behaviour was divided into eating and ruminating. An observation was defined as eating when the animal had its muzzle in the feed bunk or was chewing or swallowing food with its head over it. Ruminating included the regurgitation, mastication and swallowing of the bolus. An activity was recorded as drinking when the heifer had her muzzle in the water bowl or was swallowing the water. Non-chewing behaviour categories were: resting, self-grooming, social behaviour, oral behaviours and rummaging in wood shavings. Resting was recorded when no chewing behaviour and no apparent activity were being performed. Self-grooming was defined as non-stereotyped licking of the body or scratching with a hind limb or against the fixtures. Social behaviour was registered when a heifer was licking or nosing a neighbouring heifer with the muzzle or butting. Oral behaviours included the act of licking or biting the fixtures, and tongue-rolling, both of which were considered stereotyped behaviours. Finally, rummaging in wood shavings was considered an exploratory behaviour. To analyze behaviour patterns, the day was sub-divided into 12 intervals of 2-h each starting at the beginning of the day (intervals 1 to 12).

3.5 Statistical analyses

Each heifer fed a given treatment diet at each period was considered the experimental unit in all the analyses. The daily mean value for each intake variable was calculated as the average of 7 days in each experimental period and was statistically analyzed by using a mixed-effects regression model analysis of variance using the MIXED procedure of SAS (v. 9.1; SASInstitute Inc., Cary, NC, USA, 2008). The model contained the fixed effects of treatment, period and their interaction, and the random effect of heifer nested within sequence. A square root-arcsine transformation was applied to the variables expressed as percentage but presented as back-transformed least square means. Data from sorting of straw particle size were tested for a difference from 100 using the *t*-test.

To test treatment effect for each behavioural activity, a repeated measures analysis was performed by using the GLIMMIX procedure of SAS (v. 9.1; SASInstitute Inc., Cary, NC, USA, 2008). The model contained the fixed effect of treatment, period and their interaction. The time interval was considered the repeated measure and heifer nested within sequence was considered random effect. Regression analyses was also performed to obtain the coefficients of determination between rumination time and dietary factors across treatments by means of the REG procedure of SAS (v. 9.1; SASInstitute Inc., Cary, NC, USA, 2008). Significance was declared at $P < 0.05$ and tendencies are discussed at $P < 0.10$ unless otherwise noted.

4. Results

Period effect was statistically significant in the majority of the variables studied, as expected in growing animals and with variables in which intake is involved, but this will not be discussed here. However, treatment x period interaction was not detected in any variable, so we will only refer to treatment effect.

4.1 Feed intake, water consumption, performance and sorting of particles

Concentrate intake and total DM intake of heifers fed with the CH feeding method were higher than when fed with TMR ($P = 0.002$ and $P = 0.021$, respectively; Table 2). Conversely, barley straw was consumed in higher amounts in heifers fed with the TMR feeding method ($P = 0.001$). Concentrate DM intake, expressed in percentage of BW, was high in both treatments but greater in heifers fed with CH than with TMR (2.96 and 2.77, respectively; $P = 0.010$). These high concentrate intakes resulted in a high concentrate to straw ratio (96:4 and 94:6, for CH and TMR, respectively), which was higher in CH than in TMR ($P = 0.001$; data not shown in Table 2).

Intake of CP was higher in heifers fed with the CH than with the TMR method ($P = 0.002$) but total NDF intake was similar in both treatments. In contrast, NDF intake from barley straw and peNDF intake were higher in heifers fed with the TMR feeding method than when fed with CH ($P = 0.001$ and $P = 0.003$, respectively). Water consumption, expressed as litres per day, was greater in CH than in TMR treatment ($P = 0.005$). Heifers fed with the CH feeding method tended to grow more than when fed with TMR ($P = 0.090$). As a consequence of both a higher ADG and a higher total DM intake in heifers fed with the CH feeding method, the feed to gain ratio was similar in both treatments.

Table 2. Intake, water consumption and animal performance in heifers feeding concentrate and barley straw as choice (CH) or as total mixed ration (TMR).

Item	Treatments			<i>P</i> -value ^{2,3}	
	CH (n = 8)	TMR (n = 8)	s.e.	T	P
Intake kg DM/d					
Concentrate	5.06	4.71	0.120	0.002	0.001
Barley straw	0.21	0.31	0.044	0.001	0.088
Total	5.28	5.02	0.169	0.021	0.001
Concentrate DMI, % BW	2.96	2.77	0.054	0.010	0.500
CP intake, kg DM/d	0.80	0.74	0.023	0.002	0.001
Fiber Intake, kg DM/d					
NDF from barley straw	0.16	0.23	0.034	0.001	0.070
Total NDF	0.86	0.88	0.046	0.480	0.001
peNDF ¹	0.14	0.18	0.025	0.003	0.200
Water consumption, L/d	16.5	15.6	0.42	0.005	0.001
Performance					
ADG, kg/d	1.71	1.62	0.050	0.090	0.210
Feed to gain ratio, kg/kg	3.1	3.1	0.14	0.999	0.001

¹ Physically effective NDF = Straw DM intake x sum of percentages of particle sizes bigger than 8 mm x straw NDF content

² Factors are: T = treatment; P = Period

³ T x P interaction was not significant

Feeding method used to feed heifers did not affect the consumption of the different kinds of barley straw particles, which were separated with the Penn State Particle Separator (Table 3). Sorting of particles was not detected except in the case of the particles between 8 mm and 19 mm, where there was a tendency ($P < 0.10$) to sorting for in heifers fed TMR.

Table 3. Effect of feeding method, choice (CH) versus total mixed ration (TMR), on the sorting¹ (%) of particles

	Treatments			<i>P</i> -value ^{3,4}	
	CH (n = 8)	TMR (n = 8)	s.e.	T	P
Particles ²					
More than 19 mm	104.3	98.4	4.98	0.300	0.002
Between 8 mm and 19 mm	106.2	117.6 ^{†5}	13.35	0.500	0.003

¹ Sorting % = 100 x (particle size *n* DM intake/particle size *n* predicted DM intake). Sorting values equal to 100% indicate no sorting, < 100% indicate selective refusals (sorting against), and >100% indicate preferential consumption (sorting for).

² Particle size determined by Penn State Particle Separator

³ Factors are: T = treatment; P = Period

⁴ T x P interaction was not significant

⁵ Difference in sorting values from 100%: † $P < 0.10$

4.2. Animal behaviour

Feeding method did not affect eating and drinking behaviours. The heifers devoted, on average, 93 and 23 minutes per day to each activity (Table 4). Taking into account both time spent eating and total DM intake recorded on the two days of behaviour observation, we calculated the corresponding feeding rate (g DM/min), which was higher in heifers fed CH. When the eating pattern was split in the 2-h intervals (Figure 1), two peaks were observed at intervals 5 (from 0800 to 1000 h) and 10 (from 1800 to 2000 h). However, when eating behaviour of the concentrate and barley straw of the heifers fed with the CH feeding method was compared, a 2-h displacement was observed between the intakes of the two components of the ration when offered separately, with concentrate peaking first on both occasions.

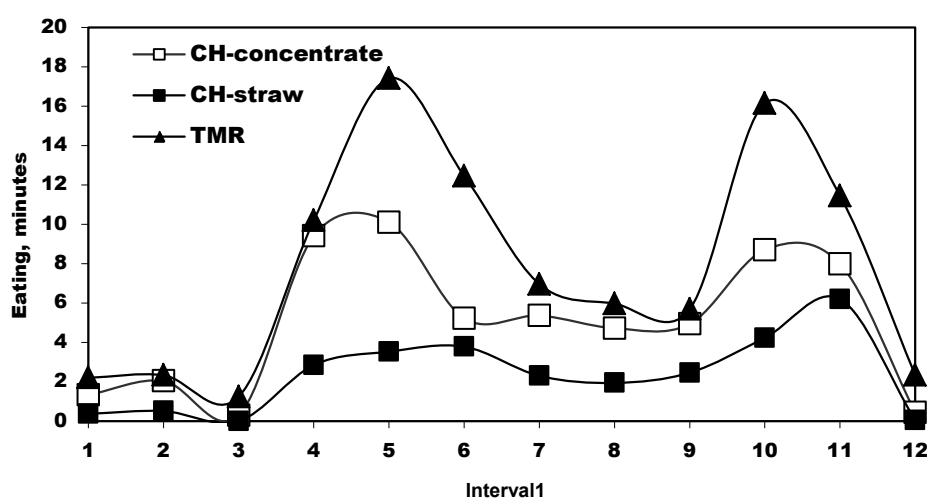
Table 4. Behaviours of heifers feeding concentrate and barley straw as choice (CH) or as total mixed ration (TMR).

Item	Treatments			P-value ^{1,2}	
	CH (n = 8)	TMR (n = 8)	s.e.	T	P
Eating					
Min/day	91.4	94.3	7.13	0.420	0.005
g DM/min	65.6	54.1	5.11	0.003	0.001
Drinking					
Min/day	24.1	21.6	3.36	0.320	0.490
Ruminating					
Min/day	286.9	375.7	30.57	0.007	0.120
Min/kg total DM	59.1	76.7	7.09	0.020	0.008
Min/kg total NDF	368.1	456.8	46.02	0.060	0.004
Resting	871.9	762.8	43.54	0.003	0.001
Social behaviour	25.8	34.8	5.60	0.070	0.610
Self-grooming	93.5	95.2	10.56	0.830	0.001
Oral behaviours					
Tongue-rolling	3.9	6.6	2.67	0.310	0.080
Licking and biting fixtures	30.4	37.4	4.90	0.180	0.170
Rummaging in wood shavings	12.1	11.6	2.86	0.880	0.002

¹ Factors are: T = treatment; P = Period

² T x P interaction was not significant

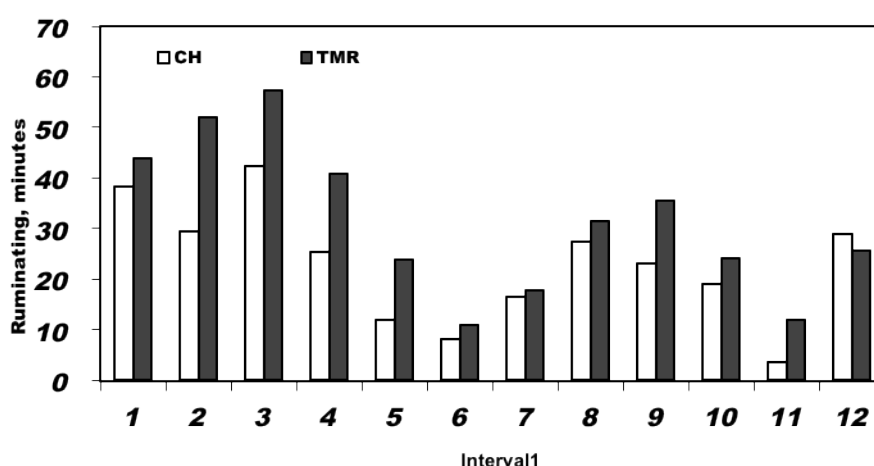
Figure 1. Eating time patterns obtained from video recordings of heifers fed concentrate (- ■ -) and barley straw (- □ -), either separately by choice feeding method, or as total mixed ration (- ▲ -). ¹ The day was divided into 12 intervals of 2-h each. Intervals were: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 and 12, corresponding to 0 to 2, 2 to 4, 4 to 6, 6 to 8, 8 to 10, 10 to 12, 12 to 14, 14 to 16, 16 to 18, 18 to 20, 20 to 22, 22 to 24 h of the day, respectively.



Ruminating behaviour was affected by feeding method. Heifers fed TMR spent more time ruminating than heifers fed concentrate and barley straw separately ($P = 0.007$). The differences in the ruminating activity of the two feeding methods were detected at intervals 2, 3, 4, 5 and 9 (Figure 2).

Resting was affected by treatment ($P = 0.003$), the activity being greater in heifers fed the components of the ration separately. The remaining behaviours were not affected by feeding method. There were no differences among treatments with regard to stereotyped behaviours.

Figure 2. Ruminating time patterns obtained from video recordings of heifers fed concentrate and barley straw, either separately by choice feeding method (□), or as total mixed ration (■). ¹ The day was divided into 12 intervals of 2-h each. Intervals were: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 and 12, corresponding to 0 to 2, 2 to 4, 4 to 6, 6 to 8, 8 to 10, 10 to 12, 12 to 14, 14 to 16, 16 to 18, 18 to 20, 20 to 22, 22 to 24 h of the day, respectively.



Effect of feeding method was significant at *** $P \leq 0.001$, ** $P \leq 0.01$, or at * $P \leq 0.05$.

The factors that better explained the variation in rumination activity were the NDF intake from concentrate, concentrate intake and total DM intake, the coefficients of determination being 0.50 ($P = 0.0023$), 0.37 ($P = 0.0130$) and 0.34 ($P = 0.0179$), respectively (Table 5). When a quadratic approach was carried out between the best dietary factor and rumination time, the R^2 increased to 0.63 and the resulting equation was: rumination time (minutes) = $-615.5 + 4142.2 x - 4253.4 x^2$ ($P = 0.0489$; root mean square error (RMSE) = 60.87; Figure 3), where x is NDF intake from concentrate (kg). When expressing total chewing time as minutes per kg DM intake and correlating it with NDF intake from concentrate (kg), the equation obtained was: total chewing time (min/kg DM intake) = $270.8 - 318.2 x$ ($r = -0.89$; $P = 0.001$; RMSE = 13.19; Figure 4), where x is NDF intake from concentrate (kg).

Table 5. Mean, standard deviation (s.d.) and range of rumination time, and dietary factors and their relationships determined by regression¹

Factor	Mean	s.d.	Range	n
Rumination time	329.3	93.14	106.4-449.6	16
Concentrate intake	4.9	0.92	3.91-5.89	16
Straw intake	0.3	0.13	0.07-0.51	16
Total DM intake	5.1	0.67	4.08-6.26	16
NDF intake from concentrate	0.6	0.08	0.43-0.74	16
NDF intake from straw	0.2	0.10	0.06-0.40	16
Total NDF intake	0.8	0.15	0.55-1.03	16
peNDF intake	0.2	0.07	0.06-0.29	16
Regression results				
Factor (x)	<i>P</i>	<i>R</i> ²	b	a
Concentrate intake	0.0130	0.3661	-91.5	776.2
Straw intake	0.5824	0.0221	-110.7	358.0
Total DM intake	0.0179	0.3393	-80.7	744.8
NDF intake from concentrate	0.0023	0.4954	-857.9	830.7
NDF intake from straw	0.5250	0.0295	-160.9	361.0
Total NDF intake	0.0638	0.2245	-295.1	559.9
peNDF intake	0.3582	0.0606	-311.8	379.0

¹ Rumination time = a + bx, where a = intercept and b = slope

Figure 3. The quadratic relationship between NDF intake from concentrate (x) and rumination time (y). Symbols represent heifers fed concentrate and barley straw, either separately by choice feeding method (□), or as total mixed ration (■).

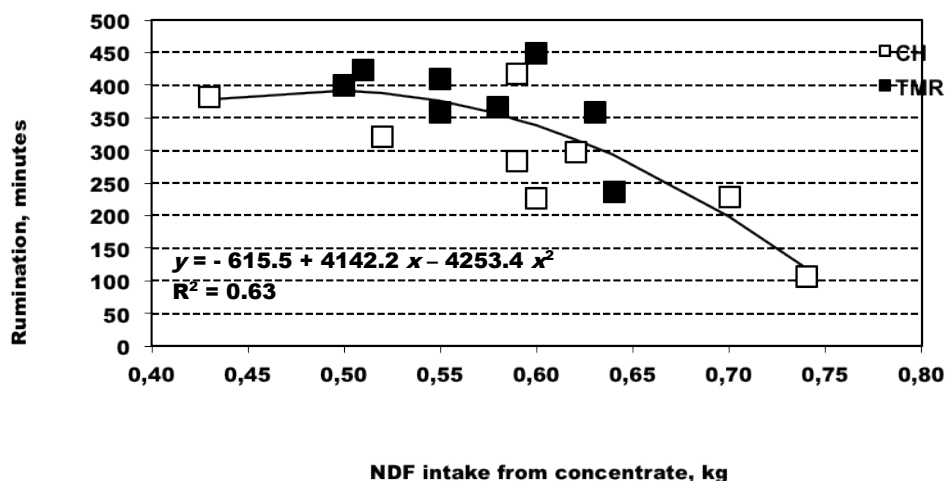
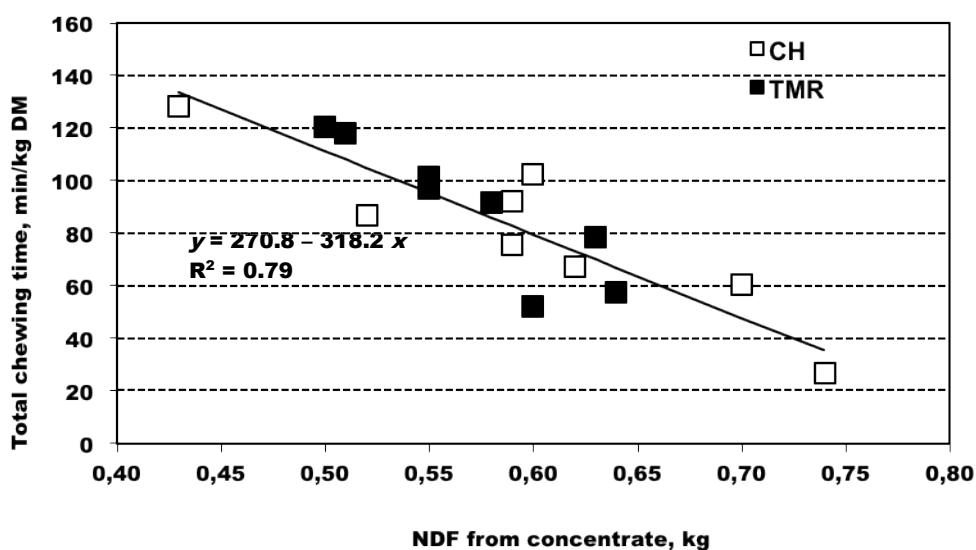


Figure 4. The linear relationship between NDF intake from concentrate (x, kg) and total chewing time (y, min/kg DM intake). Symbols represent heifers fed concentrate and barley straw, either separately by choice feeding method (□), or as total mixed ration (■).



5 Discussion

Heifers offered a choice ate more concentrate and total DM than animals offered a total mixed ration. This result contrasts with those obtained by other researchers (Atwood et al., 2001; DeVries and von Kerserlingk, 2009, Moya *et al.*, 2011). Atwood *et al.* (2001) compared the intake of beef calves offered a choice or no choice among foods. Diets consisted of *ad libitum* access to either a chopped, mixed ration of forage (corn silage, 15.5%, and alfalfa hay, 18.9%) and concentrate (rolled barley, 31.3%, and rolled corn, 31.3%) or a choice among those foods offered individually, and they found that animals offered the mixed ration tended to eat more than animals offered a free-choice. DeVries and von Keyserlingk (2009) offered 2.02 kg/d dry matter of grain concentrate and *ad libitum* chopped grass hay to prepubescent heifers. Treatments consisted of feeding the diet ingredients as choice, top-dressed ration and total mixed ration, and no differences in DMI were found between treatments. Finally, Moya *et al.* (2011), working with crossbred beef heifers, found similar intakes when heifers were fed a total mixed ration with a 10 to 90 corn silage to concentrate (tempered barley-grain, 85%, and vitamin and mineral supplement, 5%) ratio and when heifers received both feeds separately. The fact that we used barley straw as a roughage source instead of corn silage or hay (Atwood *et al.*, 2001), beef heifers with no limitation in concentrate availability instead of dairy heifers offered a limited amount of concentrate (DeVries and von Kerserlingk, 2009) and young animals reared individually instead of heifers more aged and reared in groups (Moya *et al.*, 2011), could explain the contrasting results between this previous research and those obtained in the present experiment. Differences in the sort and availability of ingredients offered and differences in the animal behaviour as a result of rearing system, could affect the response of animals to feeding method.

As a result of higher concentrate DMI, the CP intake was also higher in heifers fed CH than in TMR treatment. In contrast, total NDF intake was the same in both feeding methods because the lesser concentrate intake in TMR treatment was compensated for with a greater barley straw intake, resulting in a higher NDF intake from barley straw in heifers fed TMR treatment. Corresponding to a greater

total DMI in animals fed the CH treatment, the water consumption registered in these animals was greater. Finally, the greater ADG recorded in heifers fed CH treatment was the result of a greater concentrate and total DMI in these animals, which in consequence involved an increase in nutrient availability, as was recorded in the case of protein intake. However, there was no difference in gain efficiency between treatments due to the fact that greater ADG observed in animals fed CH treatment corresponded with a greater total DMI.

Concentrate to barley straw ratio was offered at 90 to 10 % in both free choice and TMR treatment. However in both treatments heifers ate less forage than expected and much less than the level of 20% proposed by Forbes and Provenza (2000) for ruminants giving free choice between forage and concentrate. This result is in agreement with data recorded by Devant *et al.* (2000) in young heifers (80 kg BW) given free choice barley straw and concentrate in which they found a concentrate to forage ratio of 95 to 5, between the ratio recorded in the present experiment (96 to 4 and 94 to 6 for CH and TMR treatment, respectively). To design a TMR diet for young animals, it could be necessary to reduce the proportion of barley straw to fit the animals' requirements better. Also, Maekawa *et al.* (2002) found that feeding forage and concentrate separately resulted in dairy cows consuming a higher proportion of concentrate than intended. It is evident that independently of the feeding method, animals fed high concentrate diets sorted against the forage component. With regard to possible differences in the consumption of different kinds of barley straw particles, the analysis of variance showed that the intake was similar, although the *t*-test confirmed that there was a tendency to preferential consumption of medium-sized particles (from 8 to 19 mm) in heifers fed TMR.

Time spent eating was not different between treatments. In spite of the greater total DMI in heifers fed CH feeding method, animals did not spend more time eating. This resulted in a higher feeding rate in these animals in accordance with DeVries and von Keyserlingk (2009). The higher consumption rate in the CH treatment was probably caused by the higher rate of concentrate intake. Maekawa *et al.* (2002) also found that cows fed components of the ration separately ate the concentrate portion more than twice as fast as the forage portion of the ration.

Cattle ingest their food essentially during the daytime, with the major eating peaks at the beginning and at the end of the day (Jarrige *et al.*, 1995). This is also true when high concentrate diets are offered to ruminants, as was observed in feedlot conditions by González *et al.* (2008) with heifers fed a diet with an average forage to concentrate ratio of 11 to 89 % and confirmed in the present experiment. This behaviour pattern was observed in both treatments, although in the CH treatment a displacement was observed in the peaks of concentrate and barley straw consumption, confirming the idea that animals ate first the concentrate and when they are satiated with this component, they ingest the forage component. Similar results were reported by Quigley *et al.* (1992) and De Vries and Keyserlingk (2009), in calves and dairy heifers respectively.

Although heifers in both treatments consumed the same amount of NDF, heifers fed TMR spent more time ruminating than heifers fed the CH feeding method, probably as a consequence of the greater straw, NDF from straw and peNDF intake. Due to the fact that ruminal pH is very responsive to meals and chewing behaviour, because pH decreases following meals and increases during bouts of rumination (Allen, 1997), we assume that the use of TMR as feeding method contributed to maintaining adequate mean and variation of ruminal pH, reducing the risk of ruminal acidosis.

Although dietary NDF is related to chewing activity for all forage diets (Welch and Smith, 1969), dietary NDF is not highly related to chewing across the range of diets consumed by dairy cows (Allen, 1997). When the relationships across treatments were calculated in the present experiment, the best coefficient of determination obtained was between rumination activity and dietary NDF intake from the concentrate. It is likely that in high-concentrate diets in which the amount of forage intake is very low, the dietary factor best correlated with chewing activity is linearly related to the concentrate component rather than the roughage component, as expected. Nevertheless, the quadratic relationship obtained between rumination activity and NDF intake from concentrate would indicate that up to a level of 0.5 kg of NDF from concentrate, which corresponds to 4.5 kg of concentrate intake and 4.7 kg of DM intake, rumination would increase, but would

decrease beyond this threshold. If this finding is confirmed in future research, it would be useful to identify in each growing period the threshold beyond which this decrease in rumination activity occurs. We hypothesize that until this level of concentrate consumption, young calves fed a high concentrate diet spent more time ruminating to neutralize the acid load caused by the production of fermentation acid, but after this point the equilibrium was broken, with a probable pH fall and a reduction in rumination activity. A probable loss in mastication efficiency would explain this decrease. The negative correlation coefficient obtained between ruminating time and the NDF intake from concentrate is in agreement with data reported by Dado and Allen (1994), who obtained a similar result in the linear correlation between total chewing time and DM intake in dairy cows. These authors explained that the amount of time spent chewing per unit of intake could be implicated as a measure of mastication efficiency (Deswysen *et al.*, 1987). Increased efficiency may be due to a shorter time between boluses, a greater number of chews per unit time, a lower proportion of pseudorumination, or more efficient regurgitation of long particles (DeBoever *et al.*, 1990). Except for the last argument, which is irrelevant in high-concentrate diets, the remaining three could explain the decrease in total chewing time as NDF intake increases. However, due to the limited data in this study, this result should be interpreted with caution.

In conclusion, young female calves fed diets of concentrate and barley straw at 90 to 10 ratio and offered as a total mixed ration had higher roughage intake than when the dietary components were offered separately. The increased intake in cereal straw resulted in a decrease in concentrate and total dry matter intake. In correspondence, average daily gain tended to decrease when animals received the diet as total mixed ration although the feed to gain ratio was not affected. The increased amount of roughage intake also resulted in an increase in the time spent ruminating.

Acknowledgements

Financial support from the Spanish Ministry of Science and Innovation (AGL2008-03729) and technical support from Clara Puiggrós are acknowledged.

6 References

- Allen MS 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and therequeriment for physically fiber. *Journal of Dairy Science* 80, 1447-1462.
- Association of Official Analytical Chemist 1990. Official methods of analysis. XXth edition. AOAC, Washington DC, USA.
- Atwood SB, Provenza FD, Wiedmeier RD and Banner RE 2001. Influence of free-choice vs mixed-ration diets on food intake and performance of fattening calves. *Journal of Animal Science* 79, 3034-3040.
- Colebrander VF, Noller CH and Grant RJ 1991. Effect of fiber content and particle size of alfalfa silage on performance and chewing behaviour. *Journal of Dairy Science* 74, 2681-2690.
- Dado RG and Allen MS 1994. Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 77, 132-144.
- DeBoever JL, Andries JI, DeBrabander DL, Cottyn BG and Buysse FX 1990. Chewing activity of ruminants as a measure of physical structure - A review of factors affecting it. *Animal Feed Science and Technology* 28, 281-291.
- Deswysen AG, Ellis WC and Pond KR 1987. Interrelationships among voluntary intake, eating and ruminating behavior and ruminal motility of heifers fed corn silage. *Journal of Animal Science* 64, 835-841.
- Devant M, Ferret A, Gasa J, Calsamiglia S and Casals R. 2000. Effects of protein concentration and degradability on performance, ruminal fermentation, and nitrogen metabolism in rapidly growing heifers fed high-

concentrate diets from 100 to 230 kg body weight. *Journal of Animal Science* 78, 1667-1676.

DeVries TJ and von Keyserlingk MAG 2009. Short communication: Feeding method affects the feeding behaviour of growing heifers. *Journal of Dairy Science* 92, 1161-1168.

Forbes JM and Provenza FD 2000. Integration of learning and metabolic signals into a theory of dietary choice and food intake. Pages 3-19 In *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction* (ed. PB Cronjé), pp 3-19. CABI Publishing, Wallingford, UK.

González LA, Ferret A, Manteca X, Ruíz de la Torre JL, Calsamiglia S, Devant M and Bach A. 2008. Performance, behavior, and welfare of Friesian heifers housed in pens with two, four, and eight individuals per concentrate feeding place. *Journal of Animal Science* 86, 1446-1458.

Jarrige R, Dulphy JP, Faverdin P, Baumont R, and Demarquilly C 1995. Activités d'ingestion et de rumination. In *Nutrition des ruminants domestiques* (eds R Jarrige, Y Ruckebusch, C Demarquilly, MH Farce and M Journet), pp. 123-181. INRA Editions, Paris, France.

Lammers BP, Buckmaster DR and Heinrichs AJ 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 79, 922-928.

Leonardi C and Armentano LE 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86, 557-564.

Maekawa M, Beauchemin KA and Christensen DA 2002. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85, 1165-1175.

Moya D, Mazzenga A, Holtshausen L, Cozzi G, González LA, Calsamiglia S, Gibb DG, McAllister TA, Beauchemin KA and Schwartzkopf-Genswein K 2011. Feeding behavior and ruminal acidosis in beef cattle offered a total mixed ration or dietary components separately. *Journal of Animal Science* 89, 520-530.

National Research Council 1996. Nutrients requirements of beef cattle. 7th edition. National Academy Press, Washington DC, USA.

Provenza FD. 1996. Acquired aversions as the basis for varied diets of ruminants foraging on rangelands. *Journal of Animal Science* 74, 2010-2020.

Quigley III JD, Steen TM and Boehms SI 1992. Postprandial changes of selected blood and ruminal metabolites in ruminating calves fed diets with or without hay. *Journal of Dairy Science* 75, 228-235.

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

Welch JG and Smith AM 1969. Influence of forage quality on rumination time in sheep. *Journal of Animal Science* 28, 813-818.

Capítulo IV

Feed intake, ruminal fermentation, and animal behavior of beef heifers fed forage free diets containing non-forage fiber sources

**Basado en el artículo publicado en el Journal of Animal Science (2013)
91:3827-3835**

1 ABSTRACT: Eight Simmental heifers (initial BW 313.4 ± 13.2 kg) were randomly assigned to 1 of 4 experimental treatments in a 4×4 double Latin square design. The experiment was performed in 4, 28-d periods. Treatments tested were a control diet in which barley straw was used as a fiber source (BS), and three diets where the main difference was the non-forage fiber source used: soybean hulls (SH), beet pulp in pellets (BP) and whole cottonseed (WCS). All ingredients, except the fiber sources, were ground through a 3-mm screen. Fiber ingredients were incorporated at 10, 17, 17 and 16% (on DM basis) in BS, SH, BP and WCS, respectively. All diets were offered ad-libitum as TMR and designed to be isoenergetic (2.95 Mcal ME/kg DM), isonitrogenous (15 % CP, DM basis), and with a NDF content of 20 % (on DM basis), although there was a discrepancy between the theoretical and the actual chemical composition of the diets. Particle size separation was performed using the 3-screen Penn State Particle Separator. Animals were allotted in eight individual roofed concrete pens equipped with a feedbunk and water trough. Intake was recorded over 7 d in the last week of each experimental period. Behavior was recorded for 24-h on d 2 and d 6 of each experimental week using a digital video-recording device. A digital color camera was set up in front of each pen. Data recorded, except behavioral activities, were statistically analyzed using the MIXED procedure of SAS. To test treatment effect for each behavioral activity, analysis was performed using the GLIMMIX procedure of SAS. Diets ranked from greater to lesser proportion of particles of less than 1.18 mm as follows: SH, BS, WCS, and BP. Dry matter intake of heifers fed WCS was greater than the remaining treatments ($P = 0.049$). The greatest average ruminal pH was registered in heifers fed BS (6.4) and BP (6.3), while the smallest was recorded in SH diet (5.9), with WCS (6.2) occupying an intermediate position ($P = 0.006$). Total chewing time was greater ($P = 0.001$) in BS and WCS than in SH and BP. In conclusion, the non-forage fiber sources tested in this experiment can be used in forage-free diets fed to beef heifers as TMR without negative consequences in DMI, in SH and BP diets, and with an increased DMI in WCS diet. The WCS diet promoted rumination and total chewing time to the same degree as BS, which demonstrates that it is equally effective as this forage fiber source.

Key Words: beef heifers, behavior, non-forage fiber sources

2 INTRODUCTION

Beef cattle require a minimum amount of fiber to provide an energetically-dense ration without compromising the ruminal ecosystem, animal welfare, and performance. The fiber that is effective in stimulating chewing and salivation, rumination, and ruminal motility is referred to as effective fiber (NRC, 2000). Based on the data of Pitt *et al.* (1996), NRC (2000) estimated a minimum of 20 % effective NDF (DM basis) to maintain ruminal pH above 6.2.

Fiber in cattle diets can be offered from forage or non-forage sources. Cattle are able to consume by-products of several processing industries as non-forage fiber sources that otherwise would create disposal problems for the manufacturers, thus their utilization is necessary from an economic and environmental point of view. Several of these by-products, such as beet pulp (Faleiro *et al.*, 2011), whole cottonseed (Cranston *et al.*, 2006) and soybean hulls (Löest *et al.*, 2001), have been investigated in beef cattle roughage-free diets to quantify the effects of their inclusion in animal performance. However, these studies have failed to investigate the effects of such diets on behavioral changes which are relevant to animal welfare. Taking into account that these by-products differ in physical characteristics (Grant, 1997) and chemical composition (NRC, 2000), animal response could be different in promoting chewing activity and ruminal buffering capacity. Our hypothesis was that non-forage fiber sources can replace forage if they can stimulate chewing to the same extent as forage does to reduce ruminal acidosis incidence. To ascertain this, an experiment was designed to study the effects of soybean-hulls, pelleted beet pulp, and whole cottonseed, as non-forage fiber sources included in TMR diets, on intake, ruminal fermentation, and animal and feeding behavior of heifers fed forage-free diets compared to a high-concentrate diet with added barley straw as fiber source, also offered as TMR.

3 MATERIALS AND METHODS

Animal procedures were approved by the Institutional Animal Care and Use Committee of the Universitat Autònoma de Barcelona (Spain).

3.1 Animals, Experimental Design and Housing

Eight rumen cannulated Simmental heifers (273 ± 9.6 d old and with an average initial BW of 313.4 ± 4.7 kg) were randomly assigned to 1 of 4 experimental treatments in a 4×4 double Latin square design. The experiment was performed in the Experimental Farm of the Universitat Autònoma de Barcelona, from October 2010 to January 2011, in 4, 28-d periods, and sampling was carried out in the last week of each period. Heifers were weighed before feeding on 2 consecutive days at the beginning and the end of the experiment, and on the last day of the sampling week. Treatments tested were a control diet in which barley straw was used as a fiber source (**BS**), and 3 diets where the main difference was the non-forage fiber source used: soybean hulls (**SH**), beet pulp in pellets (**BP**), and whole cotton seeds (**WCS**).

Animals were allotted in 8 individual roofed pens. 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 feedbunk and a water trough. The adjacent pens were separated by a metal fence with a bar design that allowed contact between animals.

In order to record feed intake, an automated system was used. Feedbunks (120 L capacity) were mounted on waterproof digital platform scales for each stall (model DI-160, DIGI I's Ltd, Maesawa-cho, Isawa-gun, Iwake, Japan). Each scale was programmed to transmit the feed weight to a personal computer with appropriate data capture software (LabView, National Instruments Corporation, Austin, TX, USA).

Animal behavior was recorded using a digital video-recording device (model VS-101P VioStor NVR, QNAP Systems Inc., Xizhi City, Taipei County, Taiwan). A digital color camera (model VIVOTEK IP7142, VIVOTEK INC., Chung-HO, Taipei

County, Taiwan) was set up in front of the feeding area of each pen at a height of 3 m permitting a full view of the pen. An infrared light with photoelectric cells was set up at each end of the paddock to allow video-recording at night ($\lambda = 830$ nm and 500 W; Dennard 2020, Hants, UK).

3.2. Feed and Data Collection

All diets were offered ad-libitum as total mixed rations and designed according to NRC (2000) to be isoenergetic (2.95 Mcal ME/kg of DM), isonitrogenous (15 % CP, DM basis), and with a NDF content of 20 % (on DM basis). Calcium salt of fatty acids was incorporated to balance for energy. Table 1 reflects the ingredients of the diets and their chemical composition after analysis in which it is possible to see the discrepancy between the theoretical CP and NDF content and the actual composition. Ingredients, except fiber sources, were ground through a 3-mm screen. Feeders were cleaned and orts collected at 0830 h each morning, and feed offered once daily at 0900 h, and increased by 15% in relation to the previous day's intake. Feed offered and refusal samples of each heifer were collected daily for 7 d in the sampling week for DM determination, chemical analysis and particle size. Particle size separation was performed using the 3-screen Penn State Particle Separator, obtaining 4 different fractions: a) more than 19 mm, b) between 8 and 19 mm, c) between 1.18 and 8 mm, and d) less than 1.18 mm. Sorting was calculated as the actual intake of each fraction size expressed as a percentage of the predicted intake, where predicted intake of each fraction equals the product of as-fed intake and as-fed fraction in the diet. Values <100% indicate selective refusals, >100% is preferential consumption, and =100% is no sorting (Leonardi and Armentano, 2003).

Table 1. Ingredients and chemical composition of the diets

Item	Diet ¹			
	BS	SH	BP	WCS
Ingredient composition, % of DM				
Corn, ground	33.7	33.8	30.0	35.6
Barley, ground	33.7	33.8	30.0	35.6
Soybean meal, 48%CP	11.0	6.7	6.7	2.4
Sunflower meal, 29% CP	2.6	2.3	8.0	5.0
Barley Straw	10	-	-	-
Soybean hull	-	17.0	-	-
Beet pulp	-	-	17.0	-
Whole cotton seed	-	-	-	16.0
Sugarcane molasses	3.5	3.0	3.2	2.8
Calcium salt of fatty acids	3.4	1.5	3.2	-
Salt	0.3	0.3	0.3	0.3
Sodium bicarbonate	1.0	1.0	1.0	1.0
Calcium carbonate	0.5	0.3	0.3	1.0
Vitamin-mineral premix ²	0.3	0.3	0.3	0.3
Chemical composition, % DM				
CP	14.0	15.6	14.2	14.7
NDF	17.6	19.4	17.7	18.5
ADF	8.1	10.1	10.2	10.8
Ether extract	3.2	4.1	2.7	5.6
Ash	6.1	6.9	7.2	7.3
NFC ³	59.1	54.0	58.2	53.9

¹ BS = barley straw; SH = soybean hulls; BP = beet pulp; WCS = whole cottonseed

² Vitagras[®] (INZAR, S.L., Zaragoza, Spain). Vitamin and mineral premix contained per kg: 150.000 IU vitamin A, 20.000 IU vitamin D₃, 375 mg vitamin E, 1000 mg Zn, 5 mg Co, 125 mg Cu, 750 mg Mn, 12.4 mg I, 5 mg Se, 5 mg Etoxiquine, 2 mg Butilhidroxitoluene, 1 mg Propyl gallate, 1.25 x 10¹⁰ cfu of *Saccharomyces cerevisiae*.

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

Feeding behavior data was recorded during five consecutive days. The computer registered each 5 seconds the weight of feed in the feedbunk. This interval was selected because it was considered to be a reliable indicator of short-term feeding

behavior. An eating observation was considered when the weight (w_n) at time t_n was lower than the previous weight (w_{n-1}) at t_{n-1} , whenever the difference was greater than 50 g. Otherwise, the observation was considered a no-eating observation. The difference ($w_{n-1}-w_n$) was considered as feed consumed and the time difference ($t_{n-1}-t_n$) as time spent feeding. Each one of these observations was defined as a visit and the following indexes were deduced: daily feeding time, number, length, meal size of the visits, and eating rate. Daily feeding time was the sum of the time differences divided by 5 (the number of days recorded), and expressed as min/d. Number of visits was the sum of eating observations per day, which represents the times that the animal actually consumed feed. Length was defined as the time that heifers remained eating per visit (min). Meal size was the quantity of feed consumed per visit (kg). Eating rate was the result of dividing feed size by visit length (kg/ min).

3.3. Chemical Analyses

Dry matter content of offered feed and refusals were determined by drying samples for 24 h at 103°C in a forced-air oven according to AOAC (1990). Feed offered and refusal samples were dried in a forced air oven at 60°C for 48 h for later chemical analysis. Feeds and refusals were ground in a hammer mill through a 1-mm screen (P. PRAT SA, Sabadell, Spain) and retained for analysis of DM and ash (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 ash-free basis. Dry matter intake and daily nutrient intake were calculated as the difference between amounts offered and refused based on chemical analysis of the composited sample within heifer and period.

3.4. Ruminal Fermentation

On day 26 of each period, ruminal samples were taken with an electric vacuum pump connected to a 1-m iron tube that was introduced through the ruminal cannulae to reach different locations within the rumen and obtain a 300-mL sample. Times of sampling were as follows: immediately before feeding and at 4, 8, 12, 16 and 24 h after feeding. The ruminal fluid was squeezed through four layers of cheesecloth and pH was measured immediately with a glass electrode pH meter (model 507; Crisson Instruments SA, Barcelona, Spain). Two sub-samples were taken for $\text{NH}_3\text{-N}$ and volatile fatty acid (VFA) analysis. First, a 4-mL sample of filtered fluid was acidified with 4 mL of 0.2 N HCl and frozen at -20°C . Samples were later thawed, centrifuged at 25,000 g for 20 min and the supernatant analyzed for $\text{NH}_3\text{-N}$ (Chaney and Marbach, 1962) by spectrophotometry (model Libra S21; Biochrom Ltd, Cambridge, UK). Second, 4 mL of filtered ruminal fluid was added to 1 mL of a solution made up of 1% (wt/wt) solution of mercuric chloride, to prevent microbial growth, 2% (vol/vol) orthophosphoric acid and 0.2% (wt/wt) 4-methylvaleric acid as an internal standard in distilled water and frozen at -20°C (Jouany, 1982). Samples for VFA analyses were thawed and centrifuged at 15,000 g for 20 min, and diluted 1:1 in distilled water for subsequent analysis using gas chromatography (model 6890; Hewlett Packard, Palo Alto, CA, USA). A capillary column treated with polyethylene glycol TPA (BP21; SGE Europe Ltd, Buckinghamshire, UK) at 275°C in the injector and a 29.9 mL/min total gas flow rate were used in the chromatograph. The area under the pH curve and the number of hours during which ruminal pH remained below 5.8 and 5.6 were calculated assuming that the change in pH between two consecutive measures was linear.

3.5. Animal Behavior

Animal behavior was video-recorded for 24 h on d 2 and 6 of each experimental week. Data processing was carried out by continuous recording for behavior of each heifer. The behavioral categories used were mutually exclusive and as defined later. Recorded activities were registered together with their beginning and

ending times. Data for each activity is presented as the total time, expressed in minutes, in which the animal maintained this specific activity. Chewing behavior was divided into eating and ruminating. An observation was defined as eating when the animal had its muzzle in the feedbunk or was chewing or swallowing food with its head over it. Ruminating included the regurgitation, mastication, and swallowing of the bolus. An activity was recorded as drinking when the heifer had her muzzle in the water bowl or was swallowing the water. Non-chewing behavior categories were: resting, self-grooming, social behavior, oral behaviors and rummaging in wood shavings. Resting was recorded when no chewing behavior and no apparent activity were being performed. Self-grooming was defined as non-stereotyped licking of the body or scratching with a hind limb or against the fixtures. Social behavior was registered when a heifer was licking or nosing a neighboring heifer with the muzzle or butting. Oral behaviors included the act of licking or biting the fixtures, and tongue-rolling, both of which were considered stereotyped behaviors. Rummaging in wood shavings was considered an exploratory behavior.

To analyze ruminating behavior of each treatment, the day was sub-divided into 12 intervals of 2-h each starting after feeding at 1000 h (intervals 1 to 12). Eating and ruminating rate (min/kg DM and min/kg NDF) were calculated taking into account both time spent eating and ruminating and total DM and NDF intake recorded on the 2 days of behavior observation.

3.6. Statistical Analyses

Each heifer fed a given treatment diet at each period was considered the experimental unit in all the analyses. The daily mean value for each intake variable was calculated as the average of 7 d in each experimental period and was statistically analyzed by using a mixed-effects regression model analysis of variance using the MIXED procedure of SAS (v. 9.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2009). The model contained the fixed effects of Latin square and treatment, and the random effect of period and heifer nested within Latin square for intake variables and heifer nested within Latin square for data of area and hours under

the curve of ruminal pH for the benchmarks chosen. The VFA model had as fixed effects of Latin square, treatment, hour and treatment by hour interaction, random effects of period and heifer nested within Latin square, effect of time of the day as repeated measure subjected to heifer by the period and treatment nested within Latin square. A square root-arcsine transformation was applied to the variables expressed as percentage but presented as back-transformed least square means. Data from sorting of particle size were tested for a difference using the *t*-test. To test treatment effect for each behavioral activity, a repeated measures analysis was performed by using the GLIMMIX procedure of SAS (v. 9.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2009). The model contained the fixed effect of treatment and Latin square. The time interval was considered the repeated measure and heifer nested within Latin square was considered random effect. Finally, Pearson correlation coefficients across diets between average particle size, and ruminal pH and behavior data were estimated using the CORR procedure of SAS (v. 9.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2009). Significance was declared at $P < 0.05$ and tendencies are discussed at $P < 0.10$ unless otherwise noted.

4 RESULTS

Final BW of heifers was on average 431.1 ± 11.5 kg. The ADG recorded during the experiment, which lasted 112 d, was 1.04 kg/d.

4.1. Intake and Sorting of Particles

Total DM intake, expressed in kg/d or in percentage of BW, of heifers fed the WCS diet was greater ($P = 0.049$ and $P = 0.037$, respectively) than the remaining treatments (Table 2). Crude protein intake was greater for SH and WCS than for BS and BP diets ($P = 0.001$). Intake of NDF was affected by diet, being greater in WCS than in BS diet ($P = 0.023$), whereas the NDF intake in SH and BP diets was not different from the intake in WCS and BS.

Table 2. Intake of heifers fed TMR diets including forage fiber or non-forage fiber

	Diet ¹				SEM	P- value
	BS (n = 8)	SH (n = 8)	BP (n = 8)	WCS (n = 8)		
Intake						
DM,						
kg/d	7.40 ^b	7.40 ^b	7.23 ^b	7.91 ^a	0.272	0.049
% BW	1.95 ^b	1.91 ^b	1.86 ^b	2.05 ^a	0.134	0.037
CP, kg/d	0.98 ^b	1.14 ^a	1.04 ^b	1.18 ^a	0.064	0.001
NDF, kg/d	1.30 ^b	1.37 ^{ab}	1.31 ^{ab}	1.43 ^a	0.092	0.023

¹ BS = barley straw; SH = soybean hulls; BP = beet pulp; WCS = whole cottonseed

Diets had different particle size distribution (Table 3). Taking into account the smaller particle size (less than 1.18 mm), diets ranked from greater to lesser proportion of particles of this size as follows: SH, BS, WCS, and BP. The same ranking was obtained from smallest to biggest when the average particle size was calculated. The effect of the diet particle size on sorting was studied considering each particle size individually and by grouping particles of more than 1.18 mm. A *t*-test revealed that heifers did not sort in any diet, but there was a tendency ($P = 0.10$) in SH diet towards sorting for particle size smaller than 1.18 mm (data not shown).

Table 3. Particle size¹ of the diets offered as TMR

	Diet ²				SEM	P- value
	BS (n = 8)	SH (n = 8)	BP (n = 8)	WCS (n = 8)		
Particulatesize, %						
More than 19 mm	7.7 ^a	--	1.0 ^b	--	0.06	0.001
Between 8 mm and 19 mm	7.6 ^c	6.1 ^c	35.9 ^a	23.0 ^b	0.02	0.001
Between 1.18 mm and 8 mm	26.4 ^b	28.1 ^a	19.6 ^c	24.9 ^b	0.02	0.001
Less than 1.18 mm	58.6 ^b	65.8 ^a	44.3 ^d	52.1 ^c	0.02	0.001
Average particle size, mm	1.99 ^{bc}	1.48 ^c	2.99 ^a	2.24 ^b	0.14	0.001

¹ Particle size determined by Penn State Particle Separator

² BS = barley straw; SH = soybean hulls; BP = beet pulp; WCS = whole cottonseed

4.2. Ruminal Fermentation

Average and lowest ruminal pH were affected by diet ($P = 0.006$ and $P = 0.010$, respectively). The highest average ruminal pH was registered in heifers fed BS and BP, while the smallest was recorded in SH diet, with WCS occupying an intermediate position (Table 4). For the lowest pH, the minimum value was achieved in SH and the maximum in BS, while BP and WCS were in an intermediate position. The maximum ruminal pH was similar for all treatments. The number of hours and the total area at pH below 5.8 was greatest for SH and smallest for BS ($P = 0.051$ and $P = 0.037$, respectively). When the breakpoint chosen was 5.6, the number of hours and the total area below this pH tended to be greatest for SH and smallest for BS ($P = 0.062$ and $P = 0.063$, respectively). Average particle size was correlated with average pH, minimum pH, hours at pH <5.8 and hours at pH < 5.6, the Pearson coefficients of correlation being statistically non significant, and equal to 0.25, 0.28, -0.15 and -0.29, respectively (data not shown).

Total VFA was not different among diets, though the value registered in SH was numerically the greatest (Table 4). Acetate proportion was greater ($P = 0.001$) in BS and BP diets than in SH and WCS, whereas propionate proportion was greater ($P = 0.001$) in SH and WCS than in BS and BP. The acetate to propionate ratio was greater ($P = 0.001$) in BS and BP than in SH and WCS. Butyrate and valerate proportions were also affected by diet ($P = 0.049$ and $P = 0.020$, respectively) and branched-chain VFA (BCVFA) tended to be affected by diet ($P = 0.086$). There were no differences in $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration among diets.

Table 4. Ruminal fermentation of heifers fed TMR diets including forage fiber or non-forage fiber

	Diet ¹				SEM	P- value
	BS (n = 8)	SH (n = 8)	BP (n = 8)	WCS (n = 8)		
Ruminal pH						
Average	6.38 ^a	5.87 ^b	6.26 ^a	6.20 ^{ab}	0.154	0.006
Minimum	5.68 ^a	5.08 ^b	5.56 ^{ab}	5.32 ^{ab}	0.167	0.010
Maximum	7.32	6.96	7.26	7.37	0.142	0.15
Hours at pH < 5.8	5.27 ^b	13.33 ^a	8.75 ^{ab}	9.05 ^{ab}	2.478	0.051
Total area at pH < 5.8	28.1 ^b	72.7 ^a	47.4 ^{ab}	49.9 ^{ab}	13.10	0.037
Hours at pH < 5.6	2.63	10.32	4.55	6.14	2.232	0.062
Total area at pH < 5.6	14.0	55.0	25.1	33.9	11.77	0.063
Total VFA, mM	109.3	122.0	106.8	106.6	7.02	0.15
VFA, mol/100mol						
Acetate	59.2 ^a	45.8 ^b	57.0 ^a	50.7 ^b	2.04	0.001
Propionate	19.1 ^b	36.8 ^a	24.7 ^b	34.4 ^a	2.57	0.001
Butyrate	15.7 ^a	12.4 ^{ab}	13.4 ^{ab}	9.9 ^b	1.39	0.049
Valerate	1.98 ^{ab}	2.76 ^a	1.84 ^b	2.26 ^{ab}	0.307	0.020
BCVFA ²	3.96	2.72	3.19	2.87	0.355	0.086
Acetate to propionate	3.44 ^a	1.50 ^b	2.96 ^a	1.61 ^b	0.404	0.001
NH ₃ -N, mg N/100mL	5.72	5.12	6.89	5.56	1.024	0.38

¹ BS = barley straw; SH = soybean hulls; BP = beet pulp; WCS = whole cottonseed

² BCVFA = Branched-chain VFA

4.3. Feeding and Animal Behavior

Daily feeding time, number of visits, meal size per visit, and eating rate were similar for all treatments (Table 5). Considering these results, heifers made on average 39 visits to the feedbunk, spent 45 min/d doing this activity, and consumed 0.210 kg of the diet in each visit, resulting in an eating rate of 0.175 kg/min. However, the length of each visit was affected by diet ($P = 0.021$), being greatest in BS and SH diets (1.22 and 1.19 min, respectively), smallest in BP (1.10 min), and intermediate in WCS diet (1.16 min).

Table 5. Feeding behavior of heifers fed TMR diets including forage fiber or non-forage fiber.

	Diet ¹				SEM	P- value
	BS (n = 8)	SH (n = 8)	BP (n = 8)	WCS (n = 8)		
Daily feeding time, min/d	44.8	48.3	39.3	48.9	4.12	0.14
Number of visits	37.1	40.8	35.7	42.2	3.69	0.23
Length of visit, min	1.22 ^a	1.19 ^a	1.10 ^b	1.16 ^{ab}	0.027	0.021
Meal size per visit, kg	0.19	0.21	0.21	0.23	0.019	0.61
Eating rate, kg/min	0.16	0.17	0.18	0.19	0.016	0.31

¹BS = barley straw; SH = soybean hulls; BP = beet pulp; WCS = whole cottonseed

Time spent eating tended ($P = 0.108$) to be greater in BP and WCS than in BS and SH (Table 6). However, when expressed as min/kg DM and as min/kg NDF, time spent eating tended to be greatest ($P = 0.057$ and $P = 0.055$, respectively) in BP, smallest in BS and SH, and intermediate in WCS diet. Time spent ruminating was greater ($P = 0.001$) in BS and WCS than in SH and BP diets. When expressed as min/kg DM and as min/kg NDF, time spent ruminating was greatest ($P = 0.001$) in BS, smallest in SH and BP, and intermediate in WCS diet. Total chewing time was greater ($P = 0.001$) in BS and WCS than in SH and BP. Average particle size was correlated with time spent eating, ruminating and chewing, the Pearson coefficients of correlation being statistically non significant, and equal to 0.30, -0.01, and 0.11, respectively (data not shown).

Table 6. Behavioral activities of heifers fed TMR diets including forage fiber or non-forage fiber

	Diet ¹				SEM	P- value
	BS (n = 8)	SH (n = 8)	BP (n = 8)	WCS (n = 8)		
Eating						
min/d	74.5	77.0	93.4	92.0	12.33	0.108
min/kg DM	10.6	9.9	13.4	11.9	1.99	0.057
min/kg NDF	48.3	49.6	63.2	58.2	9.64	0.055
Drinking, min/d	21.7	21.4	14.8	21.4	3.71	0.35
Ruminating						
min/d	294.4 ^a	168.3 ^b	166.0 ^b	248.6 ^a	20.70	0.001
min/kg DMI	42.0 ^a	22.2 ^b	24.8 ^b	31.7 ^{ab}	3.39	0.001
min/kg NDF	188.7 ^a	111.9 ^b	114.1 ^b	159.6 ^{ab}	18.48	0.001
Total chewing, min/d	368.9 ^a	246.0 ^b	259.4 ^b	340.5 ^a	30.31	0.002
Social behavior, min/d	47.4	45.0	39.6	38.4	7.21	0.67
Self-grooming, min/d	13.5	17.7	23.6	20.4	5.41	0.49
Oral behaviors, min/d						
Tongue-rolling	2.2 ^b	2.5 ^b	16.8 ^a	5.4 ^b	5.25	0.069
Licking and biting fixture	38.5	35.7	44.9	47.1	11.19	0.69
Rummaging in wood shavings, min/d	11.3	8.2	7.7	9.0	3.23	0.86
Resting, min/d	936.5 ^b	1064.1 ^a	1033.2 ^{ab}	957.7 ^b	31.75	0.004

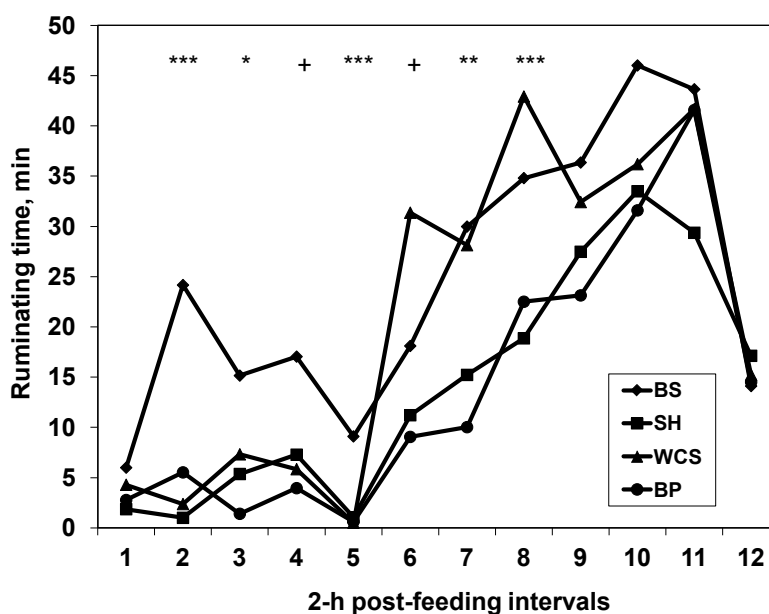
¹ BS = barley straw; SH = soybean hulls; BP = beet pulp; WCS = whole cottonseed

Drinking and social behavior, self-grooming activity, rummaging in wood shavings, and licking and biting fixtures were not affected by diet, whereas resting and tongue-rolling behaviors were affected or tended to be affected by diet ($P = 0.004$ and $P = 0.069$, respectively). Resting was greater in SH than in BS and WCS, and tongue-rolling, as a stereotyped behavior, was greater in BP than in the remaining diets.

When the ruminating pattern was split in 2-h intervals (Figure 1), it was observed that at intervals 2 (from 1200 to 1400 h), 3 (from 1400 to 1600 h) and 5 (from 1800 to 2000 h), the rumination activity was greater in heifers fed BS than in the remaining diets ($P = 0.001$, $P = 0.05$ and $P = 0.001$, respectively), although at interval 3 the ruminating activity was not different between heifers fed BS and

WCS. Finally, at interval 7 (from 2200 to 2400 h), as in interval 8 (from 2400 to 0200 h), heifers fed BS and WCS diets spent more time ruminating ($P = 0.01$) than heifers fed SH and BP.

Figure 1. Ruminating time patterns obtained from video recordings of heifers fed TMR, where the main fiber source is barley straw (◆BS), soybean hulls (■SH), whole cottonseed (▲WCS) and beet pulp (●BP). Intervals were: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 and 12, corresponding to 10 to 12, 12 to 14, 14 to 16, 16 to 18, 18 to 20, 20 to 22, 22 to 24, 24 to 2, 2 to 4, 4 to 6, 6 to 8, 8 to 10 h. The SEM of each interval was: 2.54, 2.84, 3.14, 3.87, 1.70, 6.83, 4.70, 5.95, 5.77, 6.73, 6.88, and 4.93, respectively. Symbols in the upper part of the graph represent the P -value of the statistical difference at each interval: *** $P = 0.001$, ** $P = 0.01$, * $P = 0.05$, + $P = 0.10$



5.DISCUSSION

According to NRC (2000), the NDF content of soybean hulls is 66.3 % (DM basis) but the content of eNDF is only 2 % (% NDF), whereas the NDF content of dehydrated beet pulp is lower (44.6, % DM), but the content of eNDF is greater (33 %NDF). Finally, the NDF content of whole cottonseed (40 % DM) is similar to NDF content of dehydrated beet pulp, but the eNDF is much greater (100 % NDF), as high as the eNDF of barley straw, which has an NDF content of 72.5% (DM basis). Moreover, these by-products differ in cell wall components. Whereas soybean hulls and dehydrated beet pulp are rich in pectin, 11 and 12.7 %, respectively (DM basis; Miron *et al.*, 2001), the lignin content is low in soybean hulls and dehydrated beet pulp, and high in whole cottonseed and barley straw (NRC, 2000). Finally, the CP content of whole cottonseed is high (23 % DM), but much lower in soybean hulls (12.2 % DM) and dehydrated beet pulp (9.8 % DM), and even lower in barley straw (4.4 % DM; NRC, 2000).

Together with the eNDF content, the particle size of the diet and the buffering capacity of the feed are another two factors that contribute to maintain the equilibrium in the rumen. Reduction of the particle size of the diet by grinding and pelleting is known to decrease rumination time (Wilkins *et al.*, 1972) and the general chewing activity in ruminants (Kennedy, 1985). In the present experiment, the ranking in terms of greater proportion of small particle size was SH, BS, WCS, and BP, and the same ranking was obtained from smallest to biggest when the average particle size was calculated. To ascertain if the effects of fiber source were confounded with particle size effects, Pearson coefficients of correlation were estimated between average particle size, and ruminal pH and behavior data. We did not obtain any significant coefficient, suggesting that confounded effects did not exist. This result can be attributed to the small particle size range in the diets used. Moreover, besides particle size, another feed characteristic that contributes to net ruminal buffering is the buffering capacity of the feed, which depends on cation exchange capacity of the fiber and, to some extent, on the fermentation of protein to ammonia (Van Soest *et al.*, 1991). In these authors' study, the cation exchange capacity was observed to be high in sugar beet pulp (70 meq/100 g),

intermediate in cottonseed meal (57 meq/100 g) and low in wheat straw (13 meq/100 g). In another study, Laszlo and Dintzis (1994) observed that soybean hulls had 69% of the cation exchange capacity of beet pulp.

5.1. Soybean Hulls vs. Barley Straw

Heifers fed SH diet consumed the same amount of DM as those fed BS diet. A greater DMI was expected in heifers fed SH than BS diet due to the greater digestibility of soybean hulls, as was detected when intake and digestibility of this by-product was compared to that of alfalfa at the same content level in the diet, in an experiment with steers by Trater *et al.* (2001). However, when comparing in vitro the same diets used in the present experiment, Sari *et al.* (2009) found that whereas the OM, NDF and ADF digestibility of SH were greater than BS at 6.2 of constant ruminal pH, the differences disappeared at pH of 5.5. This would explain our finding of an identical DMI in the two diets obtained in vivo at an average and lowest pH of 5.87 and 5.08, respectively when SH diet was fed.

Percentage of feed particles smaller than 1.18 mm was greater in SH than BS diet. This could be another reason to expect a greater DMI in heifers fed SH, because a reduction in feed particle size could result in a more rapid ruminal escape and in a reduction of the ruminal fill. Nevertheless, in high-concentrate diets mechanisms other than physical factors are involved in the control of DMI (Forbes, 1995), explaining the same intake recorded in heifers fed SH and BS diets. Moreover, the reduction of particle size of barley straw in BS diet, due to the chopping and mixing processes that occur when TMR is prepared, would also explain the intake observed in heifers fed BS diet.

In spite of the same DMI, CP intake was greater in SH treatment than in BS treatment, due to the different CP content that finally resulted when diets were made (15.6 vs 14.0 %, for SH and BS, respectively). However, this different CP intake did not affect the ruminal NH₃-N concentration. In contrast, although there was also a difference in NDF content between diets (19.4 vs 17.6 %, for SH and BS, respectively), the NDF intake was not different, probably because of sorting

against fiber in SH diet. We do not have statistical evidence of this kind of sorting but a tendency was found in this diet in sorting for particle size smaller than 1.18 mm because a value >100% indicates preferential consumption for this particle size.

The average and lowest ruminal pH in SH was lower than in BS diet, and the number of hours under a critical threshold pH was greater in SH than in BS. A decrease in ruminal pH was also observed by Hsu *et al.* (1987) when soybean hulls were fed to sheep compared with other fiber sources. These authors also detected an increase in total VFA, together with the pH reduction, which was attributed to a high fermentability of soybean hulls. Data from in situ and in vitro experiments have shown that ruminal microorganisms are capable of extensively fermenting SH at high rates (Ipharraguerre and Clark, 2003). In particular, the rapid and extensive fermentation of the fiber fraction was attributed to the low content of lignin and phenolic monomers, as well as the relative thickness and particle size of cell walls. However, Sarwar *et al.* (1992) reported that the extent of digestion of NDF decreased as the proportion of concentrate in the diet increased. This was also observed by Sari *et al.* (2009) testing the same diets used in the present experiment when pH decreased from 6.2 to 5.5 in a dual-flow continuous culture system, with the apparent NDF digestion decreasing by 47%. This would explain the decreased acetate and the increased propionate proportions registered in the present experiment.

Heifers fed SH diet spent the same time eating as those in BS diet, but SH did not promote rumination as much as BS diet, so total chewing time was reduced by 67% in relation to BS diet. Although the proportion of particles less than 1.18 mm was also great in BS diet, their eNDF content was sufficient to promote rumination. Weidner and Grant (1994) stated that rumination time and acetate to propionate ratio were reduced in lactating dairy cows when fed large amounts of soybean hulls. Moreover, the high proportion of particles sized smaller than 1.18 mm also contributed to this reduced total chewing time.

5.2. Beet Pulp vs. Barley Straw

There were no differences between BP and BS diets in DM, CP and NDF intakes of heifers fed BP diet, in which dehydrated beet pulp was incorporated as pellets and at 17 % (DM basis). Similar results were obtained by Faleiro *et al.* (2011) when growing heifers fed *ad libitum* a concentrate in which dehydrated beet pulp was included at 16% (DM basis) with and without barley straw, also fed *ad libitum*, with no differences in DM and CP intake. However in this case, NDF was greater when animals were fed barley straw and no TMR diets were offered. In contrast, Bauer *et al.* (2007) working with crossbreed steers fed diets with a 5 to 95 forage to concentrate ratio and increasing amounts of beet pulp, observed that DMI tended to decrease as pressed beet pulp increased above 12.5% of the diet.

Faleiro *et al.* (2011) observed a decrease in ruminal pH and an increase in total VFA when barley straw was removed from the diet of heifers fed a concentrate with 16% (DM basis) of beet pulp. Moreover, the fermentation profile differed from the animals fed this concentrate with or without barley straw. Acetate proportion decreased and propionate proportion increased when animals were fed a straw-free diet. In contrast, no changes in ruminal fermentation were detected in the present experiment when BS and BP were used as TMR diets, ruminal pH being no different between diets. An average ruminal pH of 6.26 in heifers fed BP diet did not correspond with a shorter time spent ruminating and total chewing recorded in these animals in comparison with heifers fed BS. Mechanisms other than salivation promoted by rumination and total chewing must have helped to buffer ruminal pH. One of them could be related to the high cation exchange capacity of beet pulp (Van Soest *et al.*, 1991). Another one could be linked to the greater stereotyped behavior observed in heifers fed BP. Moeller *et al.* (2008) proposed that because crib-biting in horses produces saliva, gastrointestinal irritation could be a motivating cause for cribbing. In ruminants, likewise, ruminal acidosis has been related to an increased tongue-rolling behavior (Faleiro *et al.*, 2011) that may alleviate this digestive upset if it could be shown that this stereotyped behavior promotes salivation as does cribbing in horses. We do not propose a cause-effect link, because a similar effect was not observed in heifers

fed SH diet where a critical ruminal pH was detected. Our results suggest that the two diets, SH and BP, which result in low total chewing time, have very different effects on ruminal pH and the diet that does not lead to a low ruminal pH causes tongue rolling. The possibility exists, therefore, that tongue rolling may be a mechanism that helps to prevent ruminal acidosis when chewing time is reduced. It would be very important to understand why tongue rolling appears only with one of two diets that reduce chewing time.

Feeding behavior data revealed that length of visits was greater in BS than in BP diet. This can be attributed to the fact that although the number of visits was similar in both diets, the daily feeding time was numerically smaller in BP than in BS diet. A discrepancy exists between this last result with one recorded using the digital camera, since in this case time spent eating was numerically greater in BP than in BS. However, though both terms express the same, daily feeding time is just the sum of times in which the feed disappears from the feedbunk, whereas time spent eating is the time recorded in which the animal had its muzzle in the feedbunk or was chewing and swallowing feed with its head over it. We visually observed that heifers fed BP diet spent more time eating than those fed BS, probably due to the need for extra time to moisten and chew whole pellets. A similar observation was made when animals were fed WCS diet, although in this case the response was not so important.

5.3. Whole Cottonseed vs. Barley Straw

Heifers fed WCS consumed more DM than heifers fed BS and, in consequence, CP and NDF intake were greater in heifers fed WCS. Cranston *et al.* (2006) compared DMI of beef steers fed a conventional 90% concentrate finishing diet, the main component of which was steam-flaked corn, with those of steers fed a similar diet in which whole cottonseed (15% DM basis) replaced the cottonseed meal, tallow and some of the corn of the conventional diet. Dry matter intake tended to be greater in whole cottonseed diet than the conventional diet. However, in this experiment both diets were formulated to contain 10% roughage in the form

of a 50:50 mixture of alfalfa hay and cottonseed hulls, whereas in the present experiment WCS was formulated as a forage-free diet.

Although lowest pH was lower in heifers fed WCS than in BS diet, the average ruminal pH, hours and total area at pH less than 5.8 did not differ between the two diets. Whereas total VFA was similar in animals fed WCS and BS, the fermentation profile was different. Acetate and butyrate proportions were lower in WCS than in BS, but propionate proportion was lower in BS, resulting in an acetate to propionate ratio greater in BS than in WCS. Harvatine *et al.* (2002) also observed that acetate to propionate ratio decreased linearly with an increasing level of whole cottonseed (from 0 to 15%, on DM basis) that was incorporated in diets fed to lactating dairy cows in substitution to alfalfa silage.

Time spent eating and ruminating, and total chewing time observed in heifers fed WCS was as high as in BS diet. These behaviors could explain why average ruminal pH was not different in animals fed these diets, because both diets promote mastication and the corresponding salivation and buffering action. This result would confirm that in forage-free diets, the effectiveness of NDF from whole cottonseed is also equivalent to that of barley straw, as was stated by Clark and Armentano (1993) when whole cottonseed was compared with alfalfa haylage in lactating dairy cows fed a diet with a 30 to 70 forage to concentrate ratio.

In conclusion soybean hulls, pelleted beet pulp and whole cottonseeds incorporated at levels of 17%, 17%, and 16% (DM basis) respectively, can be used in forage-free diets fed to beef heifers as TMR without negative consequences in DMI in the case of soybean hulls and beet pulp, and with an increased DMI with cottonseed, in comparison with the use of barley straw (10%, DM basis) as forage fiber source. However, ruminal pH was reduced when soybean hulls were incorporated with an increase in the risk of ruminal acidosis. Soybean hulls and beet pulp did not promote mastication to buffer the pH fall, but the adequate mean pH level was maintained in the case of beet pulp, probably due to the high cation exchange capacity. Cottonseed promoted rumination and

total chewing time to the same degree as barley straw, which demonstrates that it is equally effective as this forage fiber source.

6 LITERATURE CITED

- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Bauer, M. L., D. E. Schimek, J. J. Reed, J. S. Caton, P. T. Berg, and G. P. Lardy. 2007. Influence of pressed beet pulp and concentrated separator by product on intake, gain, efficiency of gain, and carcass composition of growing and finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 85:2290-2297.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8:130-132.
- Clark, P. W., and L. E. Armentano. 1993. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. *J. Dairy Sci.* 76:2644-2650.
- Cranston, J. J., J. D. Rivera, M. L. Galyean, M. M. Brashears, J. C. Brooks, C. E. Markham, L. J. McBeth, and C. R. Krehbiel. 2006. Effects of feeding whole cottonseed and cottonseed products on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84:2186-2199.
- Faleiro, A. G., L. A. González, M. Blanch, S. Cavini, L. Castells, J. L. Ruíz de la Torre, X. Manteca, S. Calsamiglia, and A. Ferret. 2011. Performance, ruminal changes, behaviour and welfare of growing heifers fed a concentrate diet with or without barley straw. *Animal* 5:294-303.
- Forbes, J.M. 1995. Growth and fattening. Pages 152-185 in *Voluntary food intake and diet selection in farm animals*. CAB International, Wallingford, UK.
- Grant, R. J. 1997. Interactions among forages and non-forages fiber sources. *J. Dairy Sci.* 80:1438-1446.

- Harvatiné, D. I., J. L. Firkins, and M. L. Eastridge. 2002. Whole cottonseed as a forage substitute fed with ground or steam-flaked corn: digestibility and performance. *J. Dairy Sci.* 85:1976-1987.
- Hsu, J. T., D. B. Faulkner, K. A. Garleb, R. A. Barclay, G. C. Fahey, Jr., and L. L. Berger. 1987. Evaluation of corn fiber, cottonseed hulls, oat hulls and soybean hulls as roughage sources for ruminants. *J. Anim. Sci.* 65:244-255.
- Ipharraguerre, I. R., and J. H. Clark. 2003. Soyhulls as an alternative feed for lactating dairy cows: A review. *J. Dairy Sci.* 86:1052-1073.
- Jouany, J. P. 1982. Volatile fatty acid and alcohol determination in digestive contents, silage juices, bacterial cultures and anaerobic fermentor contents. *Sci. Aliment.* 2:131-144.
- Kennedy, P. M. 1985. Effect of rumination on reduction of particle size in digesta by cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 36:819-828.
- Laszlo, J.A., and F. R. Dintzis. 1994. Crop residues as ion-exchange materials. Treatment of soybean hull and sugar beet fiber (pulp) with epichlorohydrin to improve cation-exchange capacity and physical stability. *J. Appl. Polym. Sci.* 52:531-538.
- Leonardi, C., and L. E. and Armentano. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:557-564.
- Löest, C. A., E. C. Titgemeyer, J. S. Drouillard, D. A. Blasi, and D. J. Bindel. 2001. Soybean hulls as a primary ingredient in forage-free diets for limit-fed growing cattle.

- Miron, J., E. Yosef, and D. Ben-Ghedalia. 2001. Compostion and in vitro digestibility of monosaccharide constituents of selected byproduct feeds. *J. Agric. Food Chem.* 49:2322-2326.
- Moeller, B. A., C. A. McCall, S. J. Silverman, and W.H. McElhenney. 2008. Estimation of saliva production in crib-biting and normal horses. *J. Equine Vet. Sci.* 28:85-90.
- NRC. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Update 2000. National Academy Press. Washington, D. C.
- Pitt, R. E., J. S. Van Kessel, D. G. Fox, M. C. Barry, and P. J. Van Soest. 1996. Prediction of ruminal volatile fatty acids and pH within the Net Carbohydrate and Protein System. *J. Anim. Sci.* 74:226-244
- Sari, M., A. Ferret, S. Calsamiglia, M. Blanch, and M. C. Fuentes. 2009. Effect of pH and non-forage fiber sources on microbial fermentation and nutrient flow from a dual-flow continuous culture system. *J. Anim. Sci.* 87, E-Suppl. 2:476.
- Sarwar, M., J. L. Firkins, and M. L. Eastridge. 1992. Effects of varying forage or concentrate carbohydrates on nutrient digestibilities and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:1533-1542.
- Trater, A. M., E. C. Titgemeyer, C. A. Löest, and D. D. Lambert. 2001. Effect of supplemental alfalfa hay on the digestion of soybean hull-based diets by cattle. *J. Anim. Sci.* 79:1346-1351.
- 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.

Weidner, S. J., and R. J. Grant. 1994. Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:522-532.

Wilkins, R. J., C. R. Lonsdale, R. M. Tetlow, and T. J. Forrest. 1972. The voluntary intake and digestibility by cattle and sheep of dried grass wafers containing particles of different size. *Anim. Prod.* 14:177-188.

Capítulo V

**Performance, behavior, carcass characteristics, and meat quality
of finishing beef heifers fed whole cottonseed**

1 ABSTRACT

To study the effect of whole cottonseed (**WCS**) in a forage-free diet on performance, behavior, and meat quality, and to compare the results with those provided by the use of barley straw (**BS**) offered either separately or mixed with the concentrate, 27 Simmental heifers (initial BW of 265.1 ± 20.4 kg) were assigned to three experimental treatments in a randomized complete block design. The treatments were: 1) concentrate and BS, both offered as free-choice in separate feedbunks (**CH-BS**), 2) concentrate and BS offered as total mixed ration (**TMR**) with a concentrate to BS ratio of 92 to 8 (**TMR-BS**), and 3) TMR in which 16% of WCS was used as a non-forage fiber source (**TMR-WCS**). All diets were offered ad-libitum and designed according to NRC (2000) to be isoenergetic (3.0 Mcal ME/kg of DM), and isonitrogenous (14 % on DM). Animals were allotted in roofed pens with three animals per pen, and three pens per treatment. Intake of DM, ADG, and G:F ratio were not different between diets, being on average 8.1 kg/d, 1.36 kg/d, and 0.176, respectively. The concentrate to BS ratio in heifers fed CH-BS was 95.7 to 4.3. Crude protein was greater ($P = 0.013$) in TMR-WCS than in CH-BS and TMR-BS diets, and NDF intake was greater ($P = 0.050$) in TMR-BS than in TMR-WCS. Time spent eating was longer ($P = 0.001$) in heifers fed CH-BS than in TMR-BS and TMR-WCS, whereas time spent ruminating and total chewing time was longer ($P = 0.001$) in TMR-BS than in CH-BS and TMR-WCS. There were no differences in the carcass characteristics and meat quality between diets, but there were differences in the percentage of some fatty acids. The percentage of C17:0 ($P = 0.005$), and the sum of C18:1 trans ($P = 0.012$) was greater in heifers fed TMR-WCS than heifers fed BS diets, but lesser in the case of C18:1 n-9 ($P = 0.002$). Moreover, the n-6:n-3 ratio was higher in TMR-WCS than in the other two diets ($P = 0.001$). In summary, these results suggest that WCS can replace BS as a fiber source in finishing beef heifers without affecting DM intake, ADG, gain to feed ratio, carcass characteristics, and meat quality, although it can cause some changes in the fatty acid profile of the *Longissimus thoracis* muscle.

Key Words: Beef Heifers, Free Choice, Total Mixed Ration, Whole Cottonseed

2 INTRODUCTION

The NRC (2000) estimated a minimum of 20% effective NDF (DM basis) to provide a high concentrate diet to maximize NFC use and microbial protein yield, keeping rumen pH above 6.2 to ensure maximum cell wall digestion. However, in Mediterranean beef production systems, where concentrate and cereal straw are commonly offered separately and ad-libitum from 100 to 400 kg BW, it is not always easy to achieve this requirement. In this feeding system, animals consume the two diet components in a 92 to 8 concentrate to roughage ratio (Faleiro *et al.*, 2010). Moreover, this ratio can vary from a mean ratio of 95 to 5, at the beginning of growth period (Devant *et al.*, 2000; Iraira *et al.*, 2012), to a mean ratio of 90 to 10, at the finishing period (Robles *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008). Total mixed ration could be a good way of promoting greater intake of roughage, because when concentrate and cereal straw are mixed, animals consume a greater amount of roughage than when offered separately, and spend a longer time ruminating (Iraira *et al.*, 2012).

Whole cottonseed (**WCS**) is a by-product with a great content of ME, CP, fat, and NDF (NRC, 2000), which can be used to feed beef cattle. Cranston *et al.* (2006) concluded that WCS can replace feedstuffs commonly used in beef cattle finishing diets with no adverse effects on animal performance or carcass characteristics. In dairy cows, there is potential to use WCS at up to 15% DM to maintain chewing activity in low forage diets (Harvatine *et al.*, 2002). Whole cottonseed was also tested by Iraira *et al.* (2013) in beef heifers at finishing period fed a forage-free diet, and showed that this non-fiber source can promote rumination and total chewing time to the same degree as barley straw, recording a similar average ruminal pH. Finally, when ground cottonseed was used by Oliveira *et al.* (2011) in zebu steers, intramuscular fat from these animals had a fatty acid profile similar to control animals fed a diet with a forage to concentrate ratio of 40 to 60, the forage being corn silage and concentrate composed of corn grain and soybean meal. We hypothesized that WCS fed to beef heifers at finishing period can be used as main fiber source in forage-free diets and fed as TMR without compromising performance, behavior and meat quality. Thus, the objective of this experiment

was to study the effects of the use of WCS in a forage-free diet on performance, behavior, carcass characteristics, and meat quality, and compare the results with those provided by the use of barley straw (**BS**) offered either separately or mixed with the concentrate.

3 MATERIALS AND METHODS

Animal procedures were approved by the Institutional Animal Care and Use Committee of the Universitat Autònoma de Barcelona (Spain).

3.1 Animals, Experimental Design and Housing

Twenty seven Simmental heifers (246 ± 16.1 days old and with an average initial BW of 265.1 ± 20.4 kg) were blocked in 3 BW groups (285, 263 and 247 kg) and randomly assigned to each dietary treatment. Performance and data behavior were studied in 3 28-d experimental periods and sampling was carried out in the third week of each experimental period. After that, animals were maintained in the same experimental treatment to reach the slaughter weight. The treatments were: 1) concentrate and BS, both offered as free-choice in separate feedbunks and ad libitum, considered control treatment (**CH-BS**), 2) concentrate and BS offered as total mixed ration with a concentrate to BS ratio of 92 to 8 (**TMR-BS**), 3) total mixed ration in which 16% of WCS was used as a non-forage fiber source (**TMR-WCS**). Animals were allotted in roofed pens with three animals per pen, and three pens per treatment. Each pen had a concrete floor bedded with wood shavings and was 5 m long and 2.5 m wide ($12.5 \text{ m}^2/\text{pen}$) and was equipped with a feedbunk and water trough. The adjacent pens were separated by a metal fence with a bar design that allowed contact between animals.

In order to record feed intake, an automated system was used. Feedbunks (120 L capacity) were mounted on waterproof digital platform scales for each stall (model DI-160, DIGI I's Ltd, Maesawa-cho, Isawa-gun, Iwake, Japan). Each scale was programmed to transmit the feed weight at 5-second intervals to a personal computer with a software application (LabView, National Instruments Corporation,

Austin, TX, USA). This interval was chosen because it was considered to be a reliable indicator of short-term feeding behavior. In the case of CH-BS diet, whole BS was offered separately from the concentrate and using a feedbunk without a platform scale.

Animal behavior was recorded using a digital video-recording device set up close to the pens (model VS-101P VioStor NVR, QNAP Systems Inc., Xizhi City, Taipei County, Taiwan). A digital color camera (model VIVOTEK IP7142, VIVOTEK INC., Chung-HO, Taipei County, Taiwan) was set up in front of the feeding area of each pen at a height of 3 m, permitting a full view of the pen. An infrared light with photoelectric cells was set up at each end of the paddock to allow video-recording at night ($\lambda = 830 \text{ nm}$ and 500 W; Dennard 2020, Hants, UK).

3.2.Feed and Data Collection

All diets were offered ad-libitum and designed according to NRC (2000) to be isoenergetic (3.0 Mcal/kg of DM), and isonitrogenous (14 % on DM basis). Table 1 reflects the ingredients of the diets and their chemical composition after analysis, in which it is possible to see the discrepancy between the theoretical CP content and the actual composition. The ingredients, except the fiber sources (barley straw and whole cottonseed), were ground through a 3-mm screen and mixed by a commercial feed manufacturer. Feeders were cleaned and orts collected at 08:30 h each morning, and feed offered once daily at 09:00 h, and increased by 15% in relation to the previous day's intake. Feed offered and refusal samples of each pen were collected daily for 7 consecutive days in the sampling week for DM determination, chemical analysis and particle size. Particle size separation was performed using the 3-screen Penn State Particle Separator. Whole BS was not included when particle size separation was made in the CH-BS diet.

Table 1. Ingredients and chemical composition of the diets.

Item	Diet ¹		
	CH-BS	TMR-BS	TMR-WCS
	----- % of DM -----		
Corn	44.95	41.35	35.20
Barley	20.00	18.40	35.20
Soybean meal, 44%CP	13.00	11.96	6.50
Soybean hull	4.90	4.51	1.46
Wheat middling	3.20	2.94	-
Bakery byproducts	10.00	9.20	-
Barley straw	Ad-libitum	8.00	-
Whole cottonseed	-	-	16.00
Molasses beet	-	-	3.61
Magnapac	1.70	1.56	-
Salt	0.20	0.18	0.18
Bicalcium phosphate	0.20	0.18	0.18
Calcium carbonate	0.80	0.74	0.72
Sodium bicarbonate	0.30	0.28	0.27
Vitamin-mineral premix ²	0.75	0.69	0.68
Chemical composition ³ , % DM			
CP	12.99	13.23	15.04
NDF	16.37	19.35	17.19
ADF	7.10	9.46	7.74
Ether extract	3.46	4.20	3.83
Ash	6.26	7.62	5.82
NFC ⁴	60.92	55.60	58.12

¹CH-BS = concentrate and barley straw fed separately; TMR-BS = concentrate and barley straw fed as total mixed ration; TMR-WCS = total mixed free forage ration in which whole cottonseed was used as non-forage fiber source

²Vitamin and mineral premix (GEMAX Terneros 7.5 Unic, Talavera de la Reina, Spain) contained per kg: 1.333.333 IU vitamin A, 256.655 IU vitamin D₃, 506 mg vitamin E, 5.300 mg Fe, 100 mg I, 100 mg Co, 373 mg Cu, 3.920 mg Mn, 9.790 mg Zn, 17 mg Se, 2 mg organic Se (from *Saccharomyces cerevisiae*), 1.2 x 10⁹ cfu of *Saccharomyces cerevisiae*, 10.400 mg calcium propionate 5.600 mg D, L-malic acid, 25.000mg Sepiolita, 266 mg vegetal antioxidant (*Vitis vinifera*), 13 mg natural extract (*Satureja spp.*)

³Chemical composition of CH-BS diet does not include barley straw

⁴NFC: non-fiber carbohydrates calculated as 100 – (CP + ash + NDF + EE)

Sorting of particle size was calculated as the actual intake of each fraction expressed as a percentage of the predicted intake, where predicted intake of the Y fraction equals the product of as-fed intake and as-fed fraction of the Y fraction in the diet. Values <100% indicate selective refusals, >100% is preferential consumption, and =100% is no sorting (Leonardi and Armentano, 2003).

Feeding behavior data was recorded over five consecutive days. A computer registered the weight of feed in the feedbunk at 5-second intervals. An eating observation was considered when the weight (w_n) at time t_n was inferior to a previous weight (w_{n-1}) at t_{n-1} , whenever the difference was higher than 50 g. Otherwise, the observation was considered a no-eating observation. The difference ($w_{n-1}-w_n$) was considered as feed consumed and the time difference ($t_{n-1}-t_n$) as time spent feeding. Each one of these observations was defined as a visit and the following indexes were deduced: daily feeding time, number of visits, length of visit, feed size per visit, and eating rate. Daily feeding time was the sum of the time differences divided by 5 (the number of days recorded), and expressed as min/d. Number of visits was the sum of eating observations per day, which represents the time that the animal consumed. Length was defined as time that heifers remained eating per visit (min). Feed size was the quantity of feed consumed per visit (kg). Eating rate was the result of dividing feed size by visit length (kg/min).

3.3. Chemical Analyses

Dry matter content of offered feed and refusals were determined by drying samples for 24 h at 103°C in a forced-air oven according to AOAC (1990). Feed offered and refusal samples were dried in a forced air oven at 60°C for 48 h for later chemical analysis. Feeds and refusals were ground in a hammer mill through a 1-mm screen (P. PRAT SA, Sabadell, Spain) and retained for analysis of DM and ash (AOAC, 1990; ID 950.05). Nitrogen content was determined by the Kjeldahl procedure (AOAC, 1990; ID 976.05). Ether extract (EE) 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

thermostable alpha-amylase and sodium sulfite. Dry matter intake and daily nutrient intake were calculated as the difference between amounts offered and refused based on chemical analysis of the composited sample within heifer and period.

3.4. Animal Measurements and Behavior

Heifers were weighed before feeding on two consecutive days at the beginning and the end of the experiment (the day of slaughter and the day before), and every fourteen days during the experiment. Animal behavior was video-recorded for 24-h on day 2, 4 and 6 of each experimental week. Data processing was carried out by scan sampling every 5 minutes for behavior of each heifer and recorded activities were registered for each observation. Data for each activity is presented as the total time, expressed in minutes, in which the animal maintained this specific activity. The behavioral categories used were divided into chewing and non-chewing behaviors. Chewing behavior included eating and ruminating. An observation was defined as eating when the animal had its muzzle in the feedbunk or was chewing or swallowing food with its head over it. Ruminating included the regurgitation, mastication and swallowing of the bolus. Non-chewing behavior categories were: drinking, self-grooming, social behavior, oral behaviors, rummaging in wood shavings, rubbing and resting. An activity was recorded as drinking when the heifer had her muzzle in the water bowl or was swallowing the water. Self-grooming was defined as non stereotyped licking of the body or scratching with a hind limb or against the fixtures. Social behavior was registered when a heifer was licking or nosing a neighboring heifer with the muzzle or butting. Oral behaviors included the act of licking or biting the fixtures, and tongue-rolling, both of which were considered stereotyped behaviors. Rummaging in wood shavings was considered an exploratory behavior. Rubbing behavior was registered when the heifer rubbed its body against a metal fence. Resting was recorded when no chewing behavior and no apparent activity were being performed.

Eating (g DM/min; min/kg total DM and NDF) and ruminating rate (min/kg total DM and NDF) were calculated taking into account both time spent eating and ruminating and total DM and NDF intake recorded on the 3 days of behavior observation.

3.5. Carcass and Meat Quality Measurements

Once the slaughter weight was achieved, heifers were slaughtered using standard procedures in an EU-licensed abattoir when the 3 animals in the pen achieved the target average weight of 400 kg. Immediately before transfer to the abattoir, the BW was registered. After slaughter, hot carcass weight was recorded, and carcass backfat and conformation were graded according to the EU classification system into 1, 2, 3, 4 and 5 (EU Regulation No 1234/2007 and No 1249/2008) and into (S)EUROP categories (EU Regulation No. No 1234/2007 and No 1249/2008), respectively. Dressing percentage was calculated from hot carcass weight.

After 24h of carcass chilling under commercial conditions, a bone-in rib section at sixth rib level was removed from each left and right carcasses and transported for subsequent analysis. The *Longissimus thoracis* muscle (LT) was excised from the 6th left rib and used for measurements of pH, color, composition (fat, protein and water) and the analysis of the meat fatty acids content. The pH was measured using a Crisson portable pH-meter (model 507; Crisson Instruments SA, Barcelona, Spain) with a xerolyt electrode. Color parameters (L^* =lightness, a^* =redness and b^* =yellowness) were measured after 30 minutes blooming with a colorimeter HunterLab MiniScan EZ 45/0 LAV (Hunter Associates Laboratory, Inc, Reston, Virginia, USA), using illuminant D65 and observer 10°. The same LT sample was used to determine intramuscular fat, protein and water content (composition) by near infrared transmission technique using a FoodScan™ analyzer (Type 78800, FOSS, Hilleroed, Denmark).

A subsample of 2 g from left LT was used to determine fatty acid (FA) content. Fat from LT was extracted as described by Folch *et al.* (1957). Fatty acids were separated and quantified as FA methyl esters (FAME) prepared by the AOAC

(1990) method. Fatty acids methyl esters were analyzed by GC (5890 Series II GC, Hewlett Packard, S.A., Barcelona, Spain). All samples were methylated in duplicate, and 0.2 microL 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, Barcelona, Spain) held in a Gas Chromatograph (5890 Series II GC, Hewlett Packard, S.A., Barcelona, Spain). Helium was the carrier gas at 30 cm/sec. Individual FAME were identified by retention time with reference to FAME standards (lipid standard: FA methyl ester mixture #189-19 L-9495; Sigma Chemical Co., 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 6th right ribs were vacuum packaged and frozen at -20 ± 2 °C until dissection and instrumental tenderness determination. The ribs were thawed 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. The right LT was transversally cut in two 2.5 cm thick steaks that 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 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, England) 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.

3.6. Statistical Analyses

The pen was considered as experimental unit for parameters of intake, performance of heifer and particle size. The daily means for dry matter, protein and NDF intake were calculated as the average of 4 days in each experimental

period (3) and were statistically analyzed using the MIXED procedure of SAS (v. 9.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2009). The model contained the fixed effects of treatment and block, and random effect of pen and period. Data from sorting of particle size were tested for differences using the *t*-test. Data from carcass, meat quality and fatty acid considered the heifers nested within pen as experimental unit and final body weight as covariance. The model included the final BW as covariance, treatment and block as fixed effect, and heifers nested within pen as random effect. To test treatment effect for each behavioral activity, analysis was performed using the GLIMMIX procedure of SAS (v. 9.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2009). The model contained the fixed effect of treatment and block, and random effect of period and heifer nested within pen. 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 (SAS 9.2, Cary, NC). Untransformed data are presented as Mean $\pm$ SE. Significance was declared at $P < 0.05$ and tendencies discussed at $P < 0.10$ unless otherwise noted.

4 RESULTS

4.1. Performance and sorting of particles

Total DM intake, expressed in kg/d or in % of BW, was similar for the three treatments (Table 2). In the case of the CH-BS diet, the concentrate to BS ratio was 95.7 to 4.3 (data not shown). Crude protein intake was greater for TMR-WCS than CH-BS and TMR-BS diets, with 1.21 kg/d and 1.04 kg/d on average, respectively ($P = 0.013$), whereas the NDF intake was greater for TMR-BS than TMR-WCS, 1.61 kg/d and 1.39 kg/d, respectively ($P = 0.051$). However, the fiber intake of CH-BS diet was not different from either TMR-BS or TMR-WCS. Average daily gain and gain to feed ratio were not different for all treatments, being on average 1.363 kg/d and 0.176 kg/kg, respectively. Water consumption, expressed in L/d or in L/kg DM, was not different between treatments, being on average 24.5 L/d and 2.81 L/kg DM, respectively.

Table 2. Intake and performance of heifers fed diets including forage fiber (CH-BS and TMR-BS) or non-forage fiber (TMR-WCS)

Item	Diet ¹			SEM	<i>P</i> - value
	CH-BS	TMR-BS	TMR-WCS		
Intake					
DM, kg/d	7.74	8.37	8.10	0.343	0.186
DM, % BW	1.77	2.01	1.97	0.074	0.175
CP, kg/d	0.99 ^b	1.08 ^b	1.21 ^a	0.050	0.013
NDF, kg/d	1.46 ^{ab}	1.61 ^a	1.39 ^b	0.081	0.050
ADG (Kg/d)	1.340	1.392	1.357	0.076	0.889
G:F, kg/kg	0.185	0.171	0.172	0.010	0.590
Water consumption					
L/d	22.34	20.87	24.19	2.453	0.655
L/kg DM	2.90	2.52	3.00	0.297	0.487

¹ CH-BS = concentrate and barley straw fed separately; TMR-BS = concentrate and barley straw fed as total mixed ration; TMR-WCS = total mixed free forage ration in which whole cottonseed was used as non-forage fiber source

Diets presented different physical characteristics, expressed as a proportion of each particle size (Table 3). Considering that whole BS was not included in particle size separation in the CH-BS diet, because it was offered separately from the concentrate, TMR-BS was the only diet with particles of more than 19 mm. The proportion of particle size between 8 and 19 mm was greater in TMR-WCS than in TMR-BS ($P = 0.003$). There were no differences among diets in particle size between 1.18 and 8 mm. Finally, the proportion of particles of less than 1.18 mm was high in CH-BS, intermediate in TMR-BS and low in TMR-WCS diet. The effect of the diet particle size on sorting of particles was studied by grouping particles according to whether they were larger or smaller than 1.18 mm (Table 4). The consumption of particles according to size was not different between diets. A *t*-test revealed that heifers tended to have preferential consumption of particles smaller than 1.18 mm in CH-BS and TMR-WCS diets.

Table 3. Particle size¹ of the diets offered

Particle size, %	Diet ²			SEM	P- value
	CH-BS ³	TMR-BS	TMR-WCS		
More than 19 mm	-	2.70	-	-	-
Between 8 mm and 19 mm	-	7.13 ^b	17.94 ^a	0.021	0.003
Between 1.18 mm and 8 mm	38.90	38.94	36.23	0.023	0.421
Less than 1.18 mm	61.10 ^a	51.23 ^b	45.83 ^c	0.017	0.003

¹ Particle size determined by Penn State Particle Separator

² CH-BS = concentrate and barley straw fed separately; TMR-BS = concentrate and barley straw fed as total mixed ration; TMR-WCS = total mixed free forage ration in which whole cottonseed was used as non-forage fiber source

³ Barley straw was not included

Table 4. Effect of physical characteristics of the diets on the sorting¹ (%) of particles.

Particle size ²	Diet ³			SEM	P- value
	CH-BS ⁴	TMR-BS	TMR-WCS		
Greater than 1.18 mm	98.64† ^b	100.0	99.54†	0.506	0.183
Lesser than 1.18 mm	101.16†	100.15	100.55†	0.437	0.221

¹ Sorting % = 100 x (particle size *n* DM intake/particle size *n* predicted DM intake). Sorting values equal to 100% indicate no sorting, < 100% indicate selective refusals

(sorting against), and >100% indicate preferential consumption (sorting for)

² Particle size determined by Penn State Particle Separator

³ CH-BS = concentrate and barley straw fed separately; TMR-BS = concentrate and barley straw fed as total mixed ration; TMR-WCS = total mixed free forage ration in which whole cottonseed was used as non-forage fiber source

⁴ Barley straw was not included

⁵ P-value obtained by means of a t-test: = $P < 0.10$

4.2. Feeding and Animal Behavior

Considering only the feedbunks mounted on waterproof digital platform scales, feeding time, length of visit, feed size per visit and eating rate were similar for all treatments (Table 5), averages being 41.95 min/d, 1.45 min, 0.28 kg and 0.195 kg/min, respectively. However, the number of visits to the feedbunk was greater in TMR-BS than in CH-BS and TMR-WCS diets (31.97 and 27.47 on average, respectively; $P = 0.050$).

Table 5. Feeding behavior of heifers fed diets including forage fiber (CH-BS and TMR-BS) and non-forage fiber (TMR-WCS).

Item	Diet ¹			SEM	<i>P-value</i>
	CH-BS ²	TMR-BS	TMR-WCS		
Feeding time, min/d	40.29	45.63	39.93	2.141	0.154
Number of visits	27.62 ^b	31.97 ^a	27.32 ^b	1.343	0.050
Length visit, min	1.47	1.43	1.45	0.041	0.708
Feed size per visit, kg	0.28	0.27	0.30	0.014	0.208
Eating rate, kg/min	0.187	0.189	0.208	0.010	0.329

¹ CH-BS = concentrate and barley straw fed separately; TMR-BS = concentrate and barley straw fed as total mixed ration; TMR-WCS = total mixed free forage ration in which whole cottonseed was used as non-forage fiber source

² Barley straw was not included

Time spent eating per day was higher in CH-BS than in TMR-BS and TMR-WCS diets (Table 6; $P = 0.001$). However, when expressed as min/kg DM and as min/kg NDF, time spent eating was not different among treatments. Time spent ruminating per day was higher ($P = 0.001$) in TMR-BS than in the other 2 diets, averages being 309.1 and 243.24, respectively. Equally, when expressed as min/kg DM and as min/kg NDF, the differences disappeared. Considering these previous data, total chewing time was higher ($P = 0.001$) in TMR-BS than in CH-BS and TMR-WCS diets. Drinking tended ($P = 0.091$) to be lower in CH-BS than in TMR-BS and TMR-WCS diets. Social behavior was not affected by diet, unlike the remaining behavioral activities. Self-grooming activity was greater in CH-BS diet ($P = 0.002$). Total oral behaviors were greater in TMR-WCS, lesser in CH-BS and intermediate in TMR-BS ($P = 0.001$). In TMR-BS, rummaging in wood shavings and resting behaviors were lesser ($P = 0.027$ and $P = 0.003$, respectively). Finally, in TMR-WCS, rubbing activity was lesser ($P = 0.030$).

Table 6. Behavioral activities of heifers fed diets including forage fiber (CH-BS and TMR-BS) or non-forage fiber (TMR-WCS).

Item	Diet [†]			SEM	P- value
	CH-BS	TMR-BS	TMR-WCS		
Eating					
min/d	104.51 ^a	86.23 ^b	83.89 ^b	3.086	0.001
min/kg DM	14.27	10.35	10.52	1.403	0.198
min/kg NDF	75.69	54.44	60.90	7.521	0.238
Drinking, min/d	19.07	23.08	24.07	1.682	0.091
Ruminating					
min/d	239.88 ^b	309.01 ^a	246.60 ^b	10.405	0.001
min/kg DMI	30.25	36.27	29.67	3.064	0.252
min/kg NDF	161.38	192.29	169.99	17.600	0.414
Total chewing, min/d	341.98 ^b	395.27 ^a	327.65 ^b	9.515	0.001
Social behavior, min/d	54.88	54.63	55.61	4.265	0.987
Self-grooming, min/d	67.40 ^b	91.42 ^a	87.16 ^a	4.198	0.002
Total oral behaviors, min/d	55.93 ^b	65.49 ^{ab}	91.86 ^a	7.121	0.001
Rummaging in wood shaving, min/d	7.96 ^a	4.07 ^b	7.40 ^a	1.083	0.027
Rubbing, min/d	20.93 ^a	18.33 ^a	9.20 ^b	3.037	0.030
Resting, min/d	869.44 ^a	787.65 ^b	834.20 ^a	14.654	0.003

[†] CH-BS = concentrate and barley straw fed separately; TMR-BS = concentrate and barley straw fed as total mixed ration; TMR-WCS = total mixed free forage ration in which whole cottonseed was used as non-forage fiber source

4.3. Carcass and Meat Quality Measurements

Average slaughter weight, hot carcass weight and dressing percentage were not different among treatments (Table 7), being on average 403.4 kg, 217.7 kg and 53.8%, respectively. There were no differences in the conformation of carcasses or in fatness score between treatments. The percentages of fat, lean and bone after dissection of the 6th rib were not affected by diet, being on average 20.84%, 58.68% and 20.47% respectively (Table 7). The pH of *Longissimus thoracis* muscle was identical (pH=5.56) for all heifers, independently of diet. With regard to color, the TMR-WCS diet tended to be the darkest meat (the lowest L*value, $P = 0.053$), b* value tended to be higher in CH-BS ($P = 0.079$), and there were no differences in the a* value. Tenderness and muscle composition were not different among diets. Tenderness and the percentages of intramuscular fat, protein and water were on average 4.4 kg and 4.49%, 21.75% and 72.60%, respectively.

The fatty acid profile of the *Longissimus thoracis* muscle is presented in Table 8. There were no differences in the fatty acid profile between CH-BS and TMR-BS diets, as expected. The percentage of C17:0 ($P = 0.005$), and sum of C18:1 trans ($P = 0.012$) was greater in heifers fed TMR-WCS than heifers fed BS diets, but lesser in the case of C18:1 n-9 ($P = 0.002$). Moreover, the n-6:n-3 ratio was greater in TMR-WCS than in the other two diets ($P = 0.001$). Meat of heifers fed TMR-WCS differed from TMR-BS in C18:2 n-6 (10.74 and 7.95 %, respectively; $P = 0.010$), and from CH-BS in C18:3n-3 (0.29 and 0.42, respectively; $P = 0.049$), and CLA (C18:2 *cis*-9, *trans*-11) (0.15 and 0.23, respectively; $P = 0.050$).

Table 7. Carcass and meat quality ¹ of *Longissimus thoracis* of heifers fed diets including forage fiber (CH-BS and TMR-BS) or non-forage fiber (TMR-WCS)

		Diet ²			SEM	P- value
		CH-BS	TMR-BS	TMR-WCS		
Carcass						
	Final BW, kg	406.9	403.0	400.3	10.28	0.844
	Hot weight, kg	222.60	214.77	215.87	5.721	0.604
	Dressing percentage, %	54.40	53.27	53.87	0.395	0.209
	Conformation ³	2.9 ± 0.11 ⁴	3.0 ± 0.0	2.9 ± 0.13	--	0.718
	Fatness ⁵	3.0 ± 0.0	2.9 ± 0.14	2.9 ± 0.13	--	0.498
6 th rib dissection						
	Fat, %	21.27	21.63	19.62	1.299	0.509
	Lean, %	58.70	57.99	59.36	1.236	0.723
	Bone, %	20.01	20.37	21.02	0.988	0.783
<i>Longissimus thoracis</i> muscle						
	pH	5.56	5.56	5.56	0.630	0.941
	Color ⁶					
	L*	39.27	39.06	37.08	0.631	0.053
	a*	17.10	16.70	16.87	0.311	0.652
	b*	14.49	13.94	13.77	0.218	0.079
	WBSF, kg ⁷	4.0	4.3	4.9	0.548	0.375
Composition (%)						
	Intramuscular fat	4.62	4.72	4.13	0.587	0.758
	Protein	21.83	21.60	21.81	0.214	0.691
	Water	72.52	72.59	72.7062	0.531	0.976

¹ Data are least squares means of 3 pens with 3 bulls per pen.

² CH-BS = concentrate and barley straw fed separately; TMR-BS = concentrate and barley straw fed as total mixed ration; TMR-WCS = total mixed free forage ration in which whole cottonseed was used as non-forage fiber source

³ Conformation class: 6 = S (superior), 5 = E (excellent), 4 = U (very good), 3 = R (good), 2 = O (fair), and 1 = P (poor)

⁴ Mean ± standard error

⁵ Fatness class: 1 (low), 2 (slight), 3 (average), 4 (high), and 5 (very high).

⁶ Color: L* = lightness, a* = redness, and b* = yellowness.

⁷ Warner–Bratzler shear force.

Table 8. Composition (%) of the principal fatty acid found in the Longissimus thoracis muscle of heifers fed diets including forage fiber (CH-BS and TMR-BS) or non-forage fiber (TMR-WCS)

Fatty acid	Diet ¹			SEM	P- value
	CH-BS	TMR-BS	TMR-WCS		
14:0	2.42	2.44	2.87	0.174	0.151
15:0	0.81	0.93	1.01	0.072	0.196
16:0	24.85	24.97	24.69	0.588	0.946
16:1 (n-9)	0.51	0.50	0.39	0.050	0.190
16:1 (n-7)	3.20	3.27	2.93	0.143	0.246
17:0	1.13 ^b	1.16 ^b	1.45 ^a	0.066	0.005
17:1	0.76	0.76	0.79	0.029	0.596
18:0	13.81	15.37	14.32	0.538	0.132
Sum of 18:1trans	4.10 ^b	2.78 ^b	7.25 ^a	0.975	0.012
18:1 (n-9)	31.19 ^a	33.37 ^a	27.15 ^b	1.096	0.002
18:1 (n-7)	2.05	1.63	1.91	0.141	0.112
18:2 (n-6)	9.70 ^{ab}	7.95 ^b	10.74 ^a	0.601	0.010
18:3 (n-6)	0.20	0.11	0.11	0.047	0.269
18:3 (n-3)	0.42 ^a	0.33 ^{ab}	0.29 ^b	0.035	0.049
CLA (<i>cis</i> 9- <i>trans</i> 11)	0.23 ^a	0.19 ^{ab}	0.15 ^b	0.020	0.050
CLA (<i>trans</i> -10, <i>cis</i> 12)	0.07	0.08	0.06	0.008	0.388
20:1	0.21	0.20	0.17	0.019	0.374
20:2 (n-6)	0.15	0.10	0.11	0.017	0.113
20:3 (n-6)	0.93	0.89	0.79	0.081	0.502
20:4 (n-6)	3.03	2.79	2.62	0.318	0.688
20:5 (n-3)	0.14	0.11	0.08	0.020	0.241
22:6 (n-3)	0.051	0.044	0.031	0.008	0.198
SFA	43.05	44.87	44.35	0.922	0.369
MUFA	42.06	42.51	40.61	0.613	0.101
PUFA	14.92	12.61	15.03	0.943	0.139
ΣPUFA:ΣSFA	0.36	0.33	0.37	0.025	0.107
Σn6:Σn3	24.90 ^b	24.22 ^b	35.38 ^a	1.410	0.001

¹ CH-BS = concentrate and barley straw fed separately; TMR-BS = concentrate and barley straw fed as total mixed ration; TMR-WCS = total mixed free forage ration in which whole cottonseed was used as non-forage fiber source

n3=Σ 18:3 (n-3), 20:5 (n-3), 22:6 (n-3); n6=Σ18:2 (n-6), 18:3 (n-6), 20:2 (n-6), 20:3 (n-6); 20:4 (n-6).

SFA= Σ 14:0, 15:00, 16:0, 17:00, 18:0

MUFA=16:1n-9, 16:1n-7, 17:1, 18:1n-7, 18:1n-9, 18:1n-7, 20:1.

PUFA=18:2n-6, 18:3n-6, 18:3n-3, CLA (9cis-11t), CLA (10t-12c), 20:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:6n-3.

5 DISCUSSION

Feeding method did not affect intake of DM and nutrients, water consumption, ADG and gain to feed ratio of beef heifers when concentrate and BS were offered either as free choice (CH-BS) or as TMR (TMR-BS). These results agree with those reported by Moya *et al.* (2009), who found similar intakes when crossbred heifers were fed a TMR with a 10 to 90 corn silage to concentrate ratio and when heifers received both feeds separately. Feeding behavior was similar except in the case of number of visits made to the feedbunk because heifers fed CH-BS visited the feedbunk less often than those fed TMR-BS. However, in this comparison the visits made to the BS feedbunk by heifers fed CH-BS were not considered. This fact explains why heifers fed CH-BS spent more time than heifers fed TMR-BS, when time spent eating was video-recorded. While heifers fed CH-BS spent more time eating than those fed TMR-BS, time spent ruminating and total chewing was higher in heifers fed TMR-BS. This could be explained by the fact that heifers fed TMR-BS ate a greater amount of BS than heifers fed CH-BS. The lack of sorting of particles in heifers fed TMR-BS leads us to conclude that the consumption of barley straw was in accordance with the 8% used in the diet formulation, while in CH-BS diet heifers ate only 4.3% of BS. The low roughage intake registered in heifers fed CH-BS treatment contrasts with data obtained by other authors (Mach *et al.*, 2006; Robles *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008) also working at finishing period, with feeding concentrate and BS both offered separately and *ad libitum*. These studies reported roughage to concentrate ratios with a range from 14 to 86 (Mach *et al.*, 2006) and 10 to 90 (Robles *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008). However, whereas the breed used in these experiments was Holstein, bulls in Mach *et al.* (2006), and heifers in Robles *et al.* (2007) and González *et al.* (2008), Simmental heifers were used in the present experiment.

Breed differences in feed intake between Holstein and beef breeds were considered by NRC (1987), and Fox *et al.* (1988) suggested that intake predictions should be increased 8 percent for Holsteins relative to British-breed cattle. Our results suggest that in addition to the differences in DMI, breed differences probably also exist in the proportion of feed selected when free choice is used as

feeding system. In a previous experiment, Iruira *et al.* (2012) also working with Simmental heifers from 115 to 185 kg BW, and feeding concentrate and chopped BS as free choice or TMR, concluded that TMR could be a good way of promoting greater intake of roughage and more time spent ruminating, because animals consumed a larger amount of BS than when offered separately. They also concluded that the promotion of rumination would be a way to reduce the risk of ruminal acidosis in intensive beef production systems. These results are in agreement with those registered in the present experiment with regard to time spent ruminating, but the NDF intake was not statistically different between CH-BS and TMR-BS diets, even though the proportions of BS consumed were 4.3 and 8 %, respectively. Carcass characteristics and meat quality of heifers fed concentrate and BS offered either as free choice or as TMR did not differ, as was expected.

Intake of DM, water consumption, ADG and gain to feed ratio were not different when heifers were fed TMR but differed in the fiber source, forage (TMR-BS) versus non-forage (TMR-WCS). However, CP intake was greater and NDF intake was lesser in heifers fed TMR-WCS than TMR-BS, in accordance with the similar DMI but the different chemical composition of the two diets. When CH-BS and TMR-WCS treatments were compared, no differences were found in DMI, NDF intake, water consumption, ADG, and gain to feed ratio, but CP intake was also greater in heifers fed TMR-WCS. These results suggest that when WCS replaced BS, performance was not affected. Similar results were found by Huerta-Leidenz *et al.* (1991) when Hereford steers were fed WCS up to 30%, and by Cranston *et al.* (2006) when WCS up to 25% was fed to crossbred heifers in non forage finishing diets.

Number of visits to the feedbunk was lower in heifers fed TMR-WCS than in TMR-BS diet, but there were no differences between the two diets in feeding time, length of visit, feed size per visit and eating rate. Similar feeding time coincides with the similar time spent eating registered with the video-recording device. In contrast, there were differences in time spent ruminating and total chewing time, both times being shorter in heifers fed TMR-WCS than in heifers fed TMR-BS diet.

These results contrast with those obtained by Iraira *et al.* (2013), who compared similar diets, both offered as TMR. However, in this experiment DM and NDF intakes were greater in heifers fed WCS than in BS diet, whereas in the present experiment DMI was not different and NDF intake was lesser in TMR-WCS than in CH-BS diet. In fact, when TMR-WCS was compared with CH-BS, similar DMI and NDF intake resulted in similar time spent ruminating and total chewing. Therefore, total chewing time increased 16% when BS was offered as TMR instead of free choice, decreased 17% when WCS replaced BS, both offered as TMR, but no differences were found when total chewing time in heifers fed CH-BS and TMR-WCS was compared. Although there were no differences in water consumption among heifers, drinking time tended to be greater in TMR-WCS treatment, in accordance with the results obtained by Mooney and Allen (1997) when WCS replaced alfalfa silage in Holstein cows in early lactation.

Carcass characteristics and meat quality of *Longissimus thoracis* were similar in heifers fed TMR-BS and TMR-WCS diets. The final pH values (5.56) were in the interval considered to be normal (pH= 5.4 to 5.8) for beef (Mach *et al.*, 2008). These values suggested that there was no increased stress before slaughter, because acidification of the muscle occurred as was expected, and the modification of the diet composition, when cottonseed was added, did not affect the final pH. In the current study, meat from heifers fed TMR-WCS tended to be darker (lower luminosity), but the values were within the ranges reported by Muchenje *et al.* (2009) (L^* = 33 to 41, a^* = 11.1 to 23.6) except for b^* (6.1 to 11.3), although no differences among diets were observed. Oliveira *et al.* (2011) evaluated the effects of dietary addition of ground oilseed sources (soybean, cottonseed and linseed) on meat quality of zebu steers. These authors found that the use of soybeans and cottonseed yielded the lowest L^* values that agree with the results observed in the present study. Furthermore, despite no differences in WBSF values among treatments being observed in our study, the values (4.4 kg on average) were very close to the proposed industry threshold of 4.1 kg reported by Huffman *et al.* (1996).

The percentages of C17:0, the sum of C18:1 trans and linoleic acid (C18:2) were greater, whereas oleic acid (C18:1 *n*-9) was lesser in heifers fed TMR-WCS than in TMR-BS diet. Furthermore, the PUFA to SFA ratio tended to be greater ($P = 0.107$) in the meat of heifers fed TMR-WCS. Among the SFA, palmitic and myristic acids attract the most attention because they are considered hypercholesterolemic. When palmitic and myristic acids are consumed, they increase the concentrations of low-density lipoproteins (LDL) in human blood (Wood *et al.*, 2003). In the present study, palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0) proportions were not significantly modified by the use of cottonseed, although an increase in C17:0 was observed probably because of a greater content of this fatty acid in this oilseed. The sum of C18:1 *trans* is predominantly formed by vaccenic acid (C18:1 trans-11), an intermediary product of biohydrogenation of linoleic and linolenic acids. Several authors have studied the use of oils and oilseeds to modify fatty acids composition of meat (Wood *et al.*, 2003). In our study, the increase in the proportion of the sum of C18:1 *trans* could have been produced by the greater content of linoleic C18:2 of cottonseed, as Oliveira *et al.* (2011) reported.

Moreover the n-6:n-3 ratio was greater in TMR-WCS than TMR-BS. The ratio of n-6:n-3 PUFA is also a risk factor in cancers and coronary heart disease (Wood *et al.*, 2003). Animals fed concentrates usually have greater ratios than recommended (n-6:n-3 ratio less than 4), although this ratio can be reduced through the diet (Wood *et al.*, 2003; Mooloney *et al.*, 2008). Linseed and fish oils were used to reduce the n6:n3 ratio in meat from animals fed concentrate (Wood *et al.*, 2003) to improve its nutritional quality. Using ground oilseed sources (soybean, cottonseed and linseed), Oliveira *et al.* (2011) found that meat from animals fed cottonseed reduced the percentage of oleic acid and increased the n-6:n-3 ratio, in accordance with our results.

In conclusion, adding WCS up to 16% (DM basis) can replace BS as fiber source in finishing beef heifers without affecting intake, ADG, gain to feed ratio, carcass characteristics, and meat quality, although it could cause some changes in the fatty acid profile of the Longissimus thoracis muscle. Specifically, meat from animals fed cottonseed had the least amount of oleic acid (C18:1 *n*-9) and the

greatest linoleic (C18:2 n-6) content and n-6:n-3 ratio. Time spent ruminating and total chewing were not different when WCS replaced BS fed as free choice (CH-BS). However, these times were shorter in TMR-WCS than TMR-BS, because TMR promoted a greater intake of BS, which increased these feeding behaviors. The promotion of rumination could be, in these intensive production systems, a way to reduce the risk of ruminal acidosis.

6 LITERATURE CITED

- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Cranston, J. J., J. D. Rivera, M. L. Galyean, M. M. Brashears, J. C. Brooks, C. E. Markham, L. J. McBeth, and C. R. Krehbiel. 2006. Effects of feeding whole cottonseed and cottonseed products on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84:2186-2199.
- Devant, M., A. Ferret, J. Gasa, S. Calsamiglia, and R. Casals. 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. *J. Anim. Sci.* 78:1667-1676.
- Faleiro, A. G., L. A. González, M. Blanch, S. Cavini, L. Castells, J. L. Ruíz de la Torre, X. Manteca, S. Calsamiglia, and A. Ferret. 2011. Performance, ruminal changes, behaviour and welfare of growing heifers fed a concentrate diet with or without barley straw. *Animal* 5:294-303.
- Folch, J., M. Lees, S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226:497-509.
- Fox, D. G., C. J. Sniffen, and J. D. O'Connor. 1988. Adjusting nutrient requirements of beef cattle for animal and environmental variations. *J. Anim. Sci.* 66:1475-1495.
- González, L. A., A. Ferret, X. Manteca, and S. Calsamiglia. 2008. Increasing sodium bicarbonate level in high-concentrate diets for heifers. I. Effects on intake, water consumption and ruminal fermentation. *Animal* 2:705-712.

- Harvatine, D. I., J. L. Firkins, and M. L. Eastridge. 2002. Whole cottonseed as a forage substitute fed with ground or steam-flaked corn: digestibility and performance. *J. Dairy Sci.* 85:1976-1987.
- Huerta-Leidenz, N. O., H. R. Cross, D. K. Lunt, L. S. Pelton, J. W. Savell, and S. B. Smith. 1991. Growth, carcass traits, and fatty acid profiles of adipose tissues from steers fed whole cottonseed. *J. Anim. Sci.* 69:3665-3672.
- Huffman KL, Miller MF, Hoover LC, Wu CK, Brittin HC and Ramsey CB (1996) Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. *J. Anim Sci.*, 74, 91-97.
- Iraira, S. P., J. L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, X. Manteca, S. Calsamiglia, and A. Ferret. 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* 6:1483-1490.
- Iraira, S. P., J. L. Ruíz de la Torre, M. Rodríguez-Prado, S. Calsamiglia, X. Manteca, and A. Ferret. 2013. Feed intake, ruminal fermentation, and animal behavior of beef heifers fed forage free diets containing non-forage fiber sources. *J. Anim. Sci.* 91:3827-3835
- Leonardi, C., and L. E. and Armentano. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:557-564.
- Mach, N., M. Devant, I. Díaz, M. Forn-Furnols, M. A. Oliver, J. A. García, and 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.
- Mooney, C. S., and M. S. Allen. 1997. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linted cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. *J. Dairy Sci.* 80:2052-2061.

- Moloney A. P, Scollan N.D. and Miles L. Enrichment of n-3 fatty acids and conjugated linoleic acid in beef: ProSafeBeef. British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin, 33, 374–381
- 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. 2009. Feeding behaviour and ruminal acidosis in beef cattle offered a total mixed ration or dietary components separately. *J. Anim. Sci.* 89:520-530.
- Muchenje, V., K. Dzama, M. Chimonyo, J. G. Raats, and P. E. Strydom. 2009. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. *J. Agric. Food Chem.* 112:279–289.
- NRC. 1997. Predicting feed intake of food-producing animal. National Academy Press. Washington, D. C.
- NRC. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Update 2000. National Academy Press. Washington, D. C.
- Oliveira, D. M., M. M. Ladeira, M. L. Chizzotti, O. R. Machado Neto, E. M. Ramos, T. M. Gonçalves, M. S. Bassi, D. P. D. Lanna, and J. S. Ribeiro. 2011. Fatty acid profile and qualitative characteristics of meat from zebu steers fed with different oilseeds. *J. Anim. Sci.* 89:2546-2555.
- Robles, V., L. A. González, A. Ferret, X. Manteca, and S. Calsamiglia. 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behavior in heifers fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 85:2538-2547.
- 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.

Wood, J. D., R. I. Richardson, G. R. Nute, A. V. Fisher, M. M. Campo, E. Kasapidou, P. R. Sheard, and M. Enser. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Sci.* 66:21–32.

Capítulo VI

Discusión de Resultados

Como resultado de los tres experimentos realizados, a continuación se discuten conjuntamente haciendo hincapié en los dos apartados principales tratados en esta tesis doctoral: 1) la comparación de dos métodos de distribución de la paja y 2) el uso de fuentes de fibra no forrajera

1. El suministro de la paja de cereal separada del pienso o bien mezclada en él

1.1 Efecto sobre la ingestión, la ganancia de peso y la eficiencia de transformación

De acuerdo a los resultados obtenidos no existe una clara tendencia respecto a que la ingesta de materia seca se vea afectada por la forma de ofrecer el pienso y la paja. En el caso de terneras jóvenes, con un peso menor a los 200 kg de peso vivo (PV), el suministro de los alimentos en forma separada (SEP) incentiva un mayor consumo de pienso y de materia seca total, y un menor consumo de paja. Sin embargo, al comparar la forma de distribución de la paja a vaquillas de mayor peso (entre 240 y 370 kg de PV), la ingestión no resultó significativamente afectada (Tabla 1). Estos últimos resultados de ingesta obtenidos en la dieta SEP son inferiores a los registrados por Shain *et al.* (1999) en dietas que incluían paja en un 5% y con animales de 342 kilos de PV.

En cuanto al consumo de materia seca total expresado como porcentaje del peso vivo (Tabla 1), se aprecia que las terneras que recibían la paja por separado presentan una ingesta mayor a la registrada por Devant *et al.* (2000), quienes registraron una ingestión equivalente al 2,0% del PV en terneras cruzadas de 102 kg de PV inicial. Para el caso de las vaquillas de mayor peso, la ingesta de materia seca se acerca bastante al resultado obtenido por Robles *et al.* (2008) y Mach *et al.* (2006), quienes registraron que la ingesta podía variar entre el 1,5% y el 1,7%, y entre el 1,8% y el 1,9% del PV para vaquillas Holstein de 388 kg y machos Holstein de 301 kg de PV, respectivamente. Sin embargo, esta ingesta está por muy por debajo del 2,9 % observado por Faleiro *et al.* (2010) trabajando con vaquillas Holstein que iniciaron con un PV de 143 kg y finalizaron con 367 kg.

Tabla 1. Ingesta de materia seca, proteína y fibra neutro detergente en terneras y vaquillas alimentadas con pienso y paja separada del pienso (CH) o mezclada con él(TMR).

	Experimento 1*		Experimento 2**	
	SEP	TMR	SEP	TMR
MS Total (kg/d)	5,28b	5,02a	7,74	8,37
MS Total (% P.V.)	3,0	2,9	1,8	2,0
Paja (% MS total)	3,9a	6,1b	4,3a	8,0b
FND (kg/d)	0,86	0,88	1,46	1,61
PC (kg/día)	0,80b	0,74a	0,99a	1,08b
GPV (kg/día)	1,710	1,620	1,340	1,392
G:F	0,325	0,328	0,185	0,171

* Terneras, ** Vaquillas

Letras distintas dentro de cada experimento indican diferencias significativas

La ingesta de paja fue significativamente superior para la dieta TMR, registrando una ingesta de 300 y 670 gramos, lo que representa el 6,1 % y 8,0 % de la materia seca ingerida por las terneras y vaquillas respectivamente, Tabla 1. Al ofrecer la dieta SEP, la ingesta disminuye a 150 y 300 gramos en las terneras y vaquillas, lo que constituye el 3,9 % y el 4,3 % de la ingesta diaria de las terneras y de las vaquillas, respectivamente. Este resultado es inferior al registrado por otros trabajos que utilizaron la opción de ofrecer el pienso y la paja por separado. Al respecto, Devant *et al.* (2000) al utilizar hembras de 101 kg registraron que la ingesta de paja, ofrecida separada del pienso y picada a un tamaño de 7 cm, fue de un 6,3 % de la dieta. González *et al.* (2009), en terneras Holstein entre los 120 kg y los 250 kg, obtuvieron que la paja representó entre un 7,6 % y un 9,5 % de la dieta, y en el caso de terneras entre los 140 kg y los 380 kg el consumo de paja varió entre un 10,2% y un 12,0% (González *et al.*, 2008). En caso de hembras de mayor peso vivo, el consumo de paja puede alcanzar un nivel de participación que va del 9,3 % al 10,4% de la dieta (Robles *et al.*, 2007) y al suministrarlo en dietas para machos Holstein, alcanzar hasta un 13% (Mach *et al.*, 2006).

Los resultados de ingesta de materia seca registrados no coinciden con los de Galyean y Defoor (2003), al señalar estos autores que la ingesta se incrementa en

forma lineal con la inclusión de forraje en la dieta. Tal vez esta condición ocurra en dietas donde el animal no tenga opción de seleccionar el alimento como es el caso en que la oferta es en forma de TMR. La mayor ingesta de materia seca que ocurre por la inclusión de fibra se debería al efecto de dilución energética que ocurre al incluir forraje (Bartle *et al.*, 1994; Guthrie *et al.*, 1996; Galyean y Defoor, 2003). Esto fue corroborado por Defoor *et al.* (2002), quienes obtuvieron una ingesta de materia seca entre el 1,39 y el 1,67 % del PV al incrementar la inclusión de paja de trigo en la dieta desde un 5,03 % a un 15,19 %. Cabe destacar que con este nivel de inclusión de paja, el porcentaje de ingesta sea inferior al obtenido en nuestro estudio para cualquiera de las dos categorías de animales.

En la Figura 1, se aprecia la relación lineal que existe entre el peso vivo de las terneras y la ingesta de materia seca, independientemente del método en que se ofrece el pienso y la paja. Sin embargo, al determinar la relación de la ingesta según el método de oferta, se obtiene una mayor correlación con la ingesta del alimento al utilizar la opción de ofrecerlo mezclado que separado, siendo los coeficientes de determinación de $R^2 = 0,78$ y $R^2 = 0,89$ para la dieta SEP y TMR, respectivamente (Figura 2).

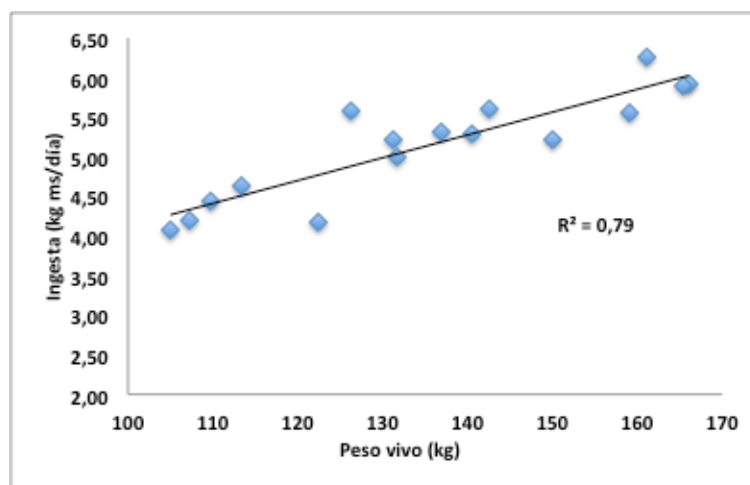
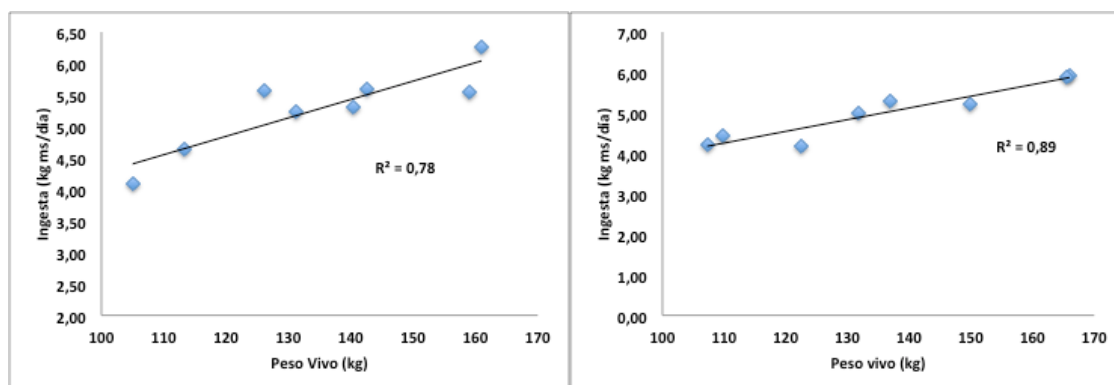


Figura 1. Relación entre el peso vivo (kg) de las terneras y la ingesta de pienso y de paja independientemente del método de oferta.



Dieta SEP

Dieta TMR

Figura 2. Relación entre el peso vivo y la ingesta de pienso y de paja ofrecidos ambos alimentos a través de TMR y por separado (SEP).

A diferencia de lo obtenido en las terneras, en las vaquillas la relación lineal entre peso vivo y la ingesta de materia seca solo alcanza a un $R^2 = 0,52$ (Figura 3), aunque se mejora la utilizar una relación cuadrática ($R^2=0,62$).

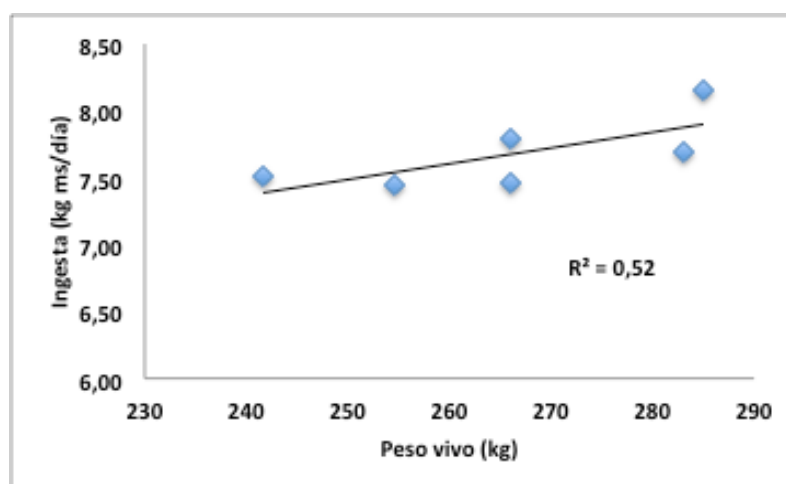


Figura 3. Relación entre el peso vivo (kg) de las vaquillas y la ingesta de pienso y de paja independientemente del método de oferta.

Ante la baja proporción del componente forrajero en este tipo de dieta, cabe preguntarse si la ingestión de fibra depende de la ingestión de paja o de la propia ingestión del pienso. Al respecto, en la Figura 4 se aprecia que el nivel de

inclusión de la paja dentro de la dieta solo explicaría un 19% de la ingestión de FND, mientras que la relación entre la ingestión de fibra y el nivel de ingesta de pienso presenta una correlación con un coeficiente de determinación de 0,94 (Figura 5). Considerando este resultado, no cabe duda que para alcanzar una correcta ingestión de fibra lo que nos debe preocupar es el contenido en fibra del pienso.

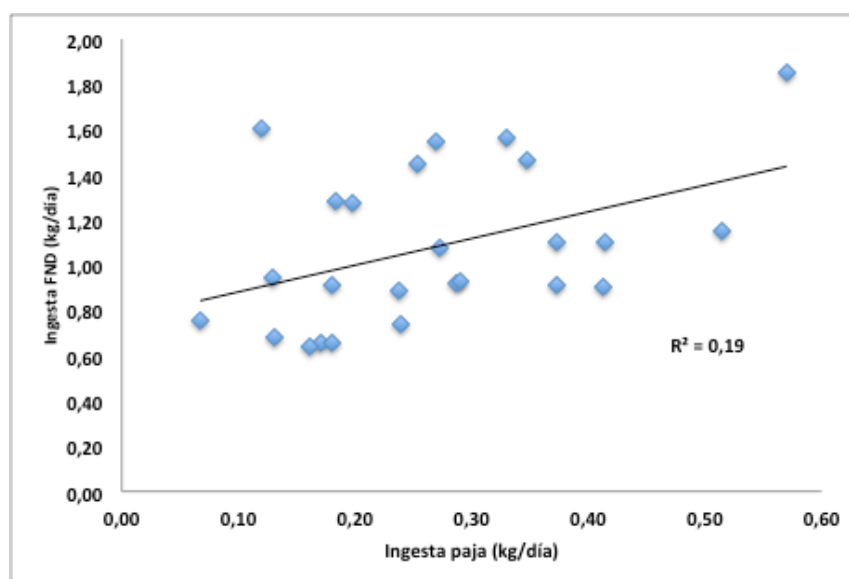


Figura 4. Relación lineal entre la ingesta de paja y de FND de la dieta.

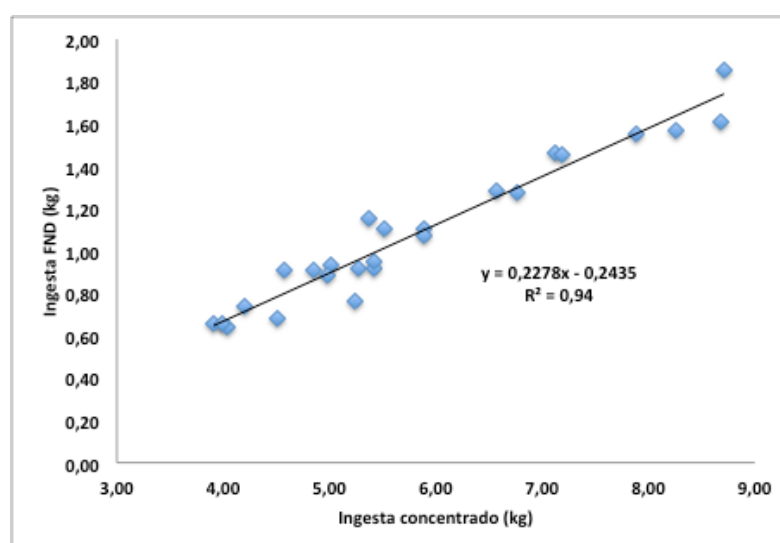


Figura 5. Relación lineal entre la ingesta de pienso y de FND de la dieta.

Como se mencionó anteriormente la ingesta de FND de la dieta no está directamente relacionada con la ingesta de paja. Ello explicaría el por qué no se incrementa este valor al aumentar la ingesta de paja como ocurre en el tratamiento TMR, en el experimento realizado con las terneras. Por otra parte, el nivel de ingesta de FND registrado en las vaquillas con la dieta SEP fue menor al registrado por Faleiro *et al.* (2010), quienes obtuvieron un registro de 1,8 kg FND/día con un mismo nivel de ingestión de paja (8%).

En la Figura 6 se presenta la relación lineal que existe entre las características físicas de la dieta y la ingesta de materia seca ($R^2=0,66$). Los resultados muestran que la ingesta de materia seca se incrementa en la medida que exista mayor porcentaje de partículas de tamaño superior a 1,18 mm. Esta podría ser la explicación de la menor ingesta registrada para las terneras que recibieron la dieta TMR, ya que el tamaño promedio de esta dieta fue de 5,84, mientras que para la dieta SEP el promedio fue de 6,21 mm ($P = 0,10$). De igual forma este criterio coincide con la respuesta de ingesta registrada por las vaquillas, ya que al presentar ambas dietas similar tamaño promedio de partícula promedio (1,90 mm y 1,98 mm para SEP y TMR respectivamente, $P = 0,23$) no se registró diferencia en la ingesta. Además con este tipo de animal no se registró ninguna tendencia a seleccionar el alimento por el tamaño de partícula.

Respecto a estos resultados, Shain *et al.* (1999) afirmaron que el tamaño de partículas en dietas que contenían un 5% de paja no fue determinante para afectar la ingesta de materia seca, lo cual coincide con Kononoff y Heinrichs (2003), quienes señalan que la ingesta de materia seca en raciones altas en concentrado no está determinada por el tamaño de la fibra que la constituye.

Respecto al tamaño de la fibra o forraje, Welch (1982) advierte que una reducción en el tamaño de ésta incrementará su tasa de pasaje y, por lo tanto, reducirá su efectividad en evitar una acidosis ruminal. Por otro lado, fibra demasiado larga reduce la ingesta de materia seca y de energía debido a su mayor tiempo de retención.

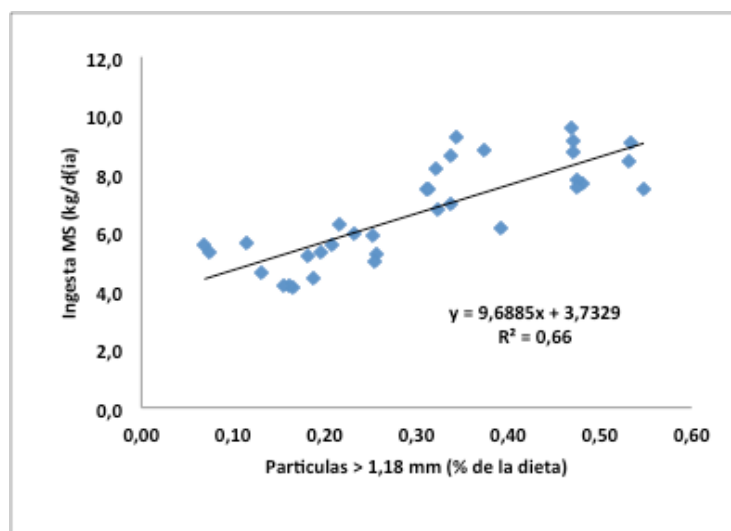


Figura 6. Relación lineal entre el porcentaje de partículas de tamaño superior a 1,18 mm y la ingesta de materia seca.

En cuanto a la ganancia de peso, ésta fue mayor para las terneras que recibieron la dieta SEP. Sin embargo en el caso de las vaquillas la ganancia de peso fue similar para ambas dietas. Cabe destacar que las terneras de la dieta TMR, pese a tener una menor ganancia de peso, la relación G:F fue similar a la dieta SEP, lo cual muestra que el método utilizado para suministrar el alimento no afectó la eficiencia del sistema productivo. Este resultado está de acuerdo con el de Galyean y Defoor (2003), quienes señalan que la eficiencia de conversión y la ganancia de peso se optimizan cuando las dietas de los feedlot contienen entre un 5 y un 10 % de forraje. Sin embargo esto se contradice con lo expuesto por Shain *et al.* (1999) y Stock *et al* (1987) al señalar que la eficiencia se reduce al incluir forraje en dietas que sólo utilizan pienso. En cuanto a los registros de ganancia de peso y la relación G:F obtenidos con las terneras, éstos fueron superiores a los que obtuvieron Devant *et al.* (2000) quienes registraron una ganancia diaria de 1,17 kg/día y una relación G:F de 0,250, aunque debe mencionarse que este resultado fue obtenido con terneras cruzadas y un consumo de paja del 6,3 %. En relación a los resultados obtenidos en las vaquillas, éstos son similares a los obtenidos por Faleiro *et al.* (2010) para dietas que incluían paja al 8%, pero menor que los registrados por Shain *et al.* (1999),

quienes obtuvieron una ganancia de peso de 1,6 kg/día y una relación G:F de 0,138 con animales de 342 kilos de PV.

1.2. Efecto sobre el comportamiento animal.

El tiempo que dedican las terneras (Experimento 1) y las vaquillas (Experimento 2) a desarrollar algunas actividades de comportamiento se presenta en la Tabla 2. De acuerdo a estos resultados, el tiempo dedicado a beber es el único que se mantiene constante, independiente de la categoría animal y de la forma de suministrar el alimento. Respecto a la actividad de ingerir, si bien en el caso de los animales jóvenes se mantuvo similar entre los métodos de suministro del alimento, en el caso de los animales de mayor peso se registró un mayor tiempo dedicado a la actividad para la dieta SEP y menor para la dieta TMR. Para el caso de la rumia, tanto las terneras como las vaquillas de la dieta TMR dedicaron más tiempo a la actividad que las de la dieta SEP.

El tiempo de ingesta para la dieta SEP, en general, fue menor al registrado por otros autores para ambas categorías de animales. Para las terneras se señalan entre 118,1 y 176,5 minutos diarios (Shain *et al.*, 1999; González *et al.*, 2009, Faleiro *et al.*, 2010) y para vaquillas 141,1 minutos (Robles *et al.*, 2007).

En cuanto a la rumia, el resultado obtenido para la dieta SEP coincide con el publicado por Faleiro *et al.* (2010), quienes utilizaron el mismo método de suministro de alimento en terneras de 143 kg registrando una duración de rumia de 290,9 minutos. La diferencia con este trabajo fue que la paja representaba un 8% de la ingesta total. Sin embargo, difiere de los resultados aportados por González *et al.* (2009) quienes registraron 328,8 minutos de rumia con terneras de 134 kg. En este caso también la proporción de paja fue mayor (8,3%).

Para el caso de las vaquillas, el tiempo de rumia registrado para dieta SEP fue inferior al señalado por Robles *et al.* (2007), quienes registraron un valor medio de 348,8 minutos, aunque en este caso la proporción de paja fue el doble de lo consumido en nuestro estudio (9,3%).

Dentro de las actividades clasificadas como de comportamiento oral, el tiempo destinado a morder las instalaciones se incrementa en las vaquillas pero continua siendo similar entre ambas dietas. Por su parte, el tiempo utilizado a desarrollar la actividad de “tongue rolling” es mayor en las terneras, pero se mantiene la tendencia a ser menor en la dieta SEP, siendo esta diferencia significativamente menor en las vaquillas.

Tabla 2. Tiempo dedicado a algunas actividades (min/día) por parte de las terneras (Exp. 1) y vaquillas (Exp.2) alimentadas con pienso y paja por separado (SEP) o en mezcla (TMR).

	Experimento 1*		Experimento 2**	
	SEP	TMR	SEP	TMR
Beber	24,1	21,6	19,1	23,1
Ingesta	91,4	94,3	104,5b	86,2a
Rumiar	286,9a	375,7b	239,8a	309,0b
Descansar	871,9b	762,8a	869,4b	787,6a
Actividad social	25,8	34,8	54,8	54,6
Acicalar	93,5	95,2	67,4a	91,4b
Comportamiento oral				
Morder instalaciones	30,4	37,4	53,7	59,5
Tongue rolling	3,9	6,6	2,2a	5,9b
Ingesta de aserrín	12,1	11,6	7,9b	4,1a

* Terneras, ** Vaquillas

Letras distintas dentro de cada experimento indican diferencias significativas

En la Figura 7 se muestra el comportamiento de ingesta de las vaquillas cuando la dieta se ofrece separada y como TMR. En general, se aprecia un patrón de ingesta más constante durante el día cuando la dieta se ofrece como TMR, mientras que al ofrecer la dieta en forma separada se destacan dos picos, uno en el momento de ofrecer la nueva comida del día a las 08:00 h y el otro diez horas más tarde (18:00 h). Cuando se ofrecieron estas dietas a las terneras, se observó un comportamiento similar al registrado por las vaquillas para la dieta SEP, es decir un pico en el momento de suministrar la comida del día y otro diez a doce

horas más tarde. Este comportamiento coincide con lo descrito por Robles *et al.* (2007) y González *et al.* (2008).

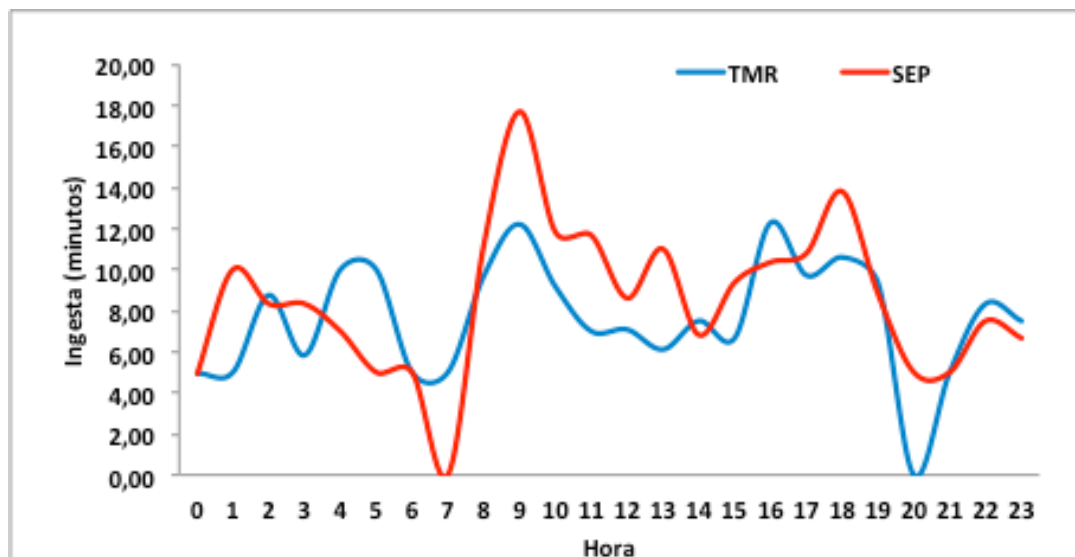


Figura 7. Patrón de comportamiento de ingesta de materia seca de vaquillas a las que se les ofrece el alimento por separado (SEP) o como TMR.

Al agrupar la ingesta por intervalos de dos horas (Figura 8), se obtuvo que el tiempo de ingesta fue similar en los intervalos 2, 8, 9, 10 y 12, mientras que en el resto de los intervalos fueron diferentes.

Mertens (1997) definió como FND efectiva (eFND) de una dieta como el producto entre la FND de la dieta y el porcentaje de la dieta con tamaño de partícula mayor a 1,18 mm, y atribuyó a este tipo de fibra la responsabilidad de incentivar la rumia. De acuerdo a este procedimiento, se determinó que la eFND de las dietas SEP y TMR fue de 0,325 kg y de 0,505 kg, respectivamente. Por lo tanto, los resultados obtenidos tienen absoluta concordancia con lo señalado por Mertens (1997), dado que la dieta TMR fue la que presentó mayor eFND y, a su vez, más tiempo de rumia, concretamente 36,54 minutos más de rumia que la dieta SEP (Tabla 3).

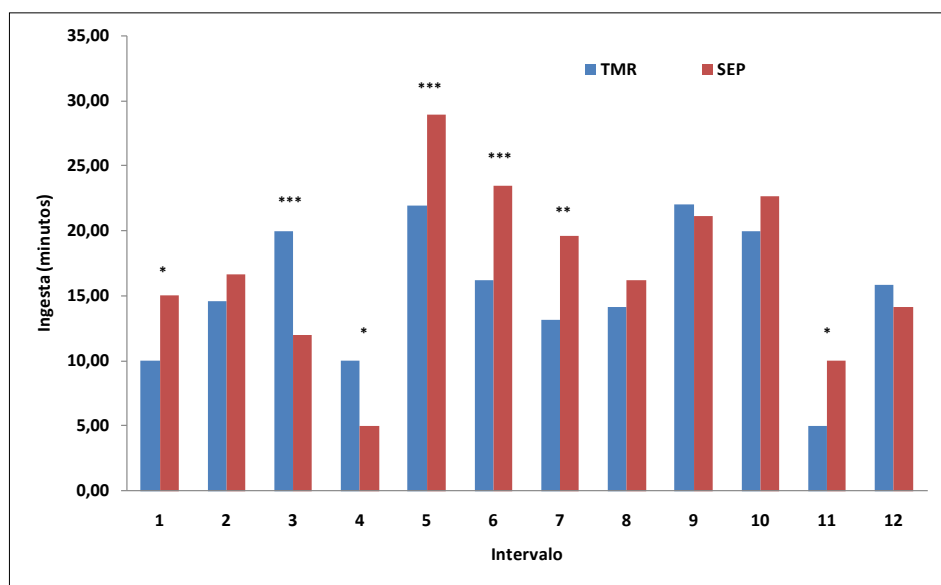


Figura 8. Patrón de comportamiento de la ingesta en vaquillas que reciben la dieta SEP y TMR en intervalo de dos horas. Intervalo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 corresponde al rango 00:00-01:00, 02:00-03:00, 04:00-05:00, 06:00-07:00, 08:00-09:00, 10:00-11:00, 12:00-13:00, 14:00-15:00, 16:00-17:00, 18:00-19:00, 20:00-21:00 y 22:00-23:00, respectivamente. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; * $P \leq 0,001$.**

El resultado que se presentan en la Tabla 3, respecto al mayor tiempo destinado a la actividad denominada “tongue rolling” por parte de los animales que recibieron la dieta TMR (1,88 minutos) resulta un tanto contradictorio dado que este comportamiento está asociado a un déficit de fibra en la dieta. Sin embargo, por los resultados antes mencionados, este tratamiento fue el que registró una mayor ingesta de paja y de eFND, además de presentar mayor tiempo de rumia. Al respecto, las vaquillas que recibieron la dieta TMR presentaron este comportamiento por un periodo significativamente mayor dentro del día, 3,8 % y 4,5% para la dietas SEP y TMR, respectivamente, mientras que en las terneras esta actividad representó sólo un 1,8% y 2,4% de la actividad diaria en SEP y TMR, respectivamente.

Al detallar el tiempo de rumia por tratamiento, se registró que las terneras y las vaquillas que recibieron la dieta TMR fueron las que presentaron mayor tiempo de

rumia y de masticación, expresado en minutos al día, como se aprecia en la Tabla 3. Cabe señalar, que en el análisis de preferencia de alimento por tamaño, las vaquillas presentaron la tendencia a seleccionar alimento de menor tamaño, al ofrecer la dieta como TMR. Sin embargo, pese a este comportamiento de selección, la rumia y la masticación no se vieron afectadas, dado a que el aporte de FND de la dieta esta dado principalmente por el aporte de pienso en la dieta, como se reflejó en la Figura 5.

En la Figura 9, se presenta el patrón diario de rumia de las vaquillas, agrupando los registros en intervalos de dos horas. Según esta figura, la mayor actividad de rumia se produce durante la noche (intervalos 11, 12, 1, 2, 3 y 4). Este patrón de comportamiento es similar al registrado por las terneras al suministrar este tipo de dietas. Entre las dos dietas, la oferta TMR, registra diferencias significativas respecto a la dieta SEP en los intervalos 1, 4, 5, 6 y 7.

En cuanto al tiempo de rumia y masticación por kilo de materia seca ingerida (Tabla 3), en general se puede señalar que el método en que se ofrece la dieta afectó al tiempo dedicado a estas actividades. Esta actividad fue menor en las terneras y vaquillas que consumieron la dieta SEP. Al respecto, el tiempo registrado para la masticación en los dos tratamientos fue superior al obtenido por Moore *et al* (1987), quienes registraron 308 minutos al día en una dieta que incluyó un 10 % de paja de trigo, provocando con ello que el pH ruminal alcanzara un valor de 6,2. Todos estos resultados llevan a pensar que efectivamente el principal aporte de FND que incentiva la rumia y la masticación proviene del pienso (Figura 5). Sin embargo, en este planteamiento se debe considerar que la FND del grano posee una digestibilidad mayor que la del forraje. Tal vez la respuesta a esta mayor actividad masticatoria esté asociada a la disminución de la tasa de paso y de la digestibilidad de la FND de la paja de trigo que ocurre cuando se utiliza en dietas que contiene un 90% de inclusión de pienso, e incluso, en el caso de forraje de baja calidad, se requiere aún más de la rumia para alcanzar el tamaño y la densidad necesaria para salir del rumen (Poore *et al.*, 1990).

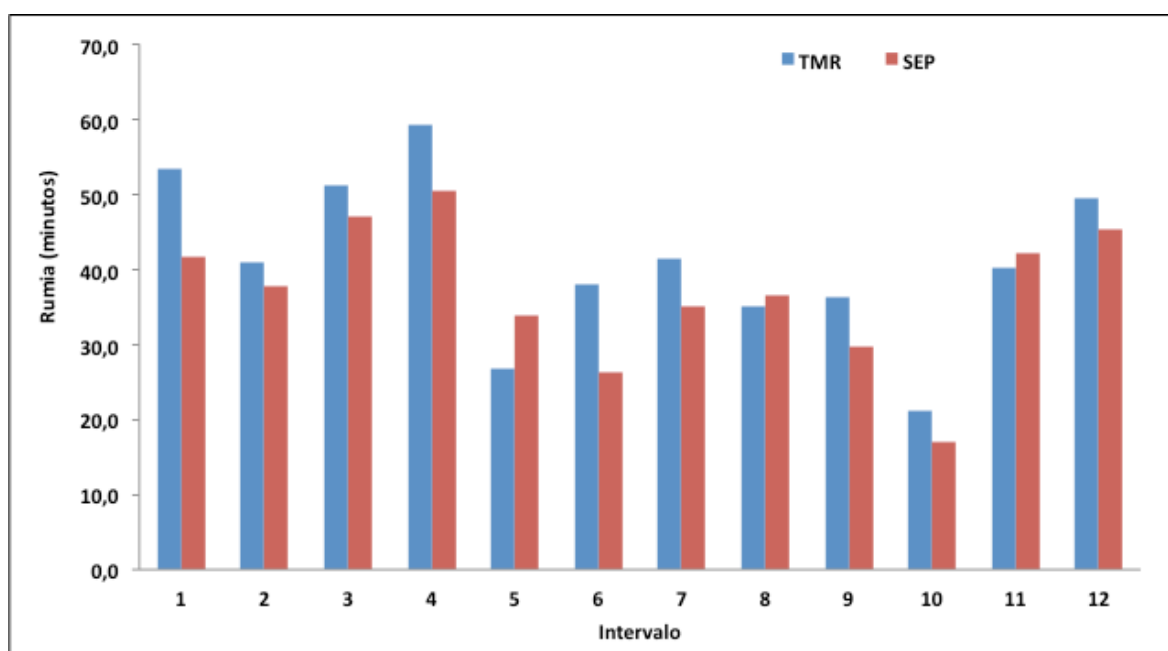


Figura 9. Patrón de comportamiento de rumia para vaquillas que reciben dieta separada (SEP) o mezclada (TMR). Intervalo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 corresponde al rango 00:00-01:00, 02:00-03:00, 04:00-05:00, 06:00-07:00, 08:00-09:00, 10:00-11:00, 12:00-13:00, 14:00-15:00, 16:00-17:00, 18:00-19:00, 20:00-21:00 y 22:00-23:00, respectivamente. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; * $P \leq 0,001$.**

Como se señaló anteriormente, independientemente del peso vivo del animal, el método utilizado para ofrecer el alimento no afectó la ingesta de FND, condición que determinó que el tiempo destinado a rumiar por kilo de FND presentara una tendencia a ser mayor con la dieta TMR en los animales jóvenes, mientras que en los animales de mayor peso no tuvo impacto alguno.

Tabla 3. Tiempo de rumia, masticación y estereotipias y su relación con la ingesta de materia seca y de FND.

	Experimento 1		Experimento 3	
	SEP	TMR	SEP	TMR
Rumiar				
Min/día	286,9	375,7	239,9	309,0
Min/kg MS	59,1	76,7	30,3	36,3
Min/kg FND	368,1	456,8	161,4	192,3
Masticación				
Min/día	370,6	477,8	341,9	395,3
Min/kg MS	70,9	95,2	44,5	47,7
Min/kg FND	432,2	551,1	237,1	252,0
Min/kg eFND	2988,3	2375,7	702,1	507,7

Al evaluar el efecto de la eFND ingerida sobre la actividad masticatoria se concluye, para ambas categorías de animales, que hubo un efecto significativo sobre el tiempo que destina diariamente a esta actividad (Tabla 3).

2.El uso de fuentes de fibra no forrajera

2.1 Efecto sobre la ingesta

En base a los resultados obtenidos en el experimento de comparación de las fuentes de fibra no forrajera, se puede señalar que la inclusión de semilla de algodón (WCS) promovió una mayor ingesta de materia seca, presentando una diferencia media de 0.567 kg/día sobre las dietas que utilizaron como fuente de fibra la paja de cebada (BS), la cascarilla de soja (CS) y la pulpa de remolacha (BP), condición que se mantiene al expresar la ingesta de materia seca como porcentaje del peso vivo de las vaquillas, Tabla 4.

Aun cuando las dietas se formularon para que fueran isoproteicas e isofibrosas, finalmente luego de su elaboración resultó que la dieta SH tuvo un mayor contenido de proteína mientras que las dietas WCS y SH fueron más altas en FND. Esta situación derivó en que las vaquillas que recibieron la dieta SH registraran un mayor consumo de proteína respecto a la dieta BS y BP pese a presentar similar ingesta de materia seca, Tabla 4. Sin embargo, para el caso de la dieta WCS, la mayor ingesta de proteína y FND solo es el resultado de la mayor ingesta total que realizaron las vaquillas al recibir esta ración (Tabla 4 y Figura 9).

Tabla 4. Ingesta de materia seca, proteína y fibra detergente neutro según fuente de fibra.

	Dieta				SEM	P- value
	BS	SH	BP	WCS		
Materia seca, kg/d	7,40 a	7,40 a	7,23 a	7,91 b	0,272	0,049
Materia seca, % PV	1,95 a	1,91 a	1,86 a	2,05 b	0,134	0,037
Proteína, kg/d	0,98 a	1,14 b	1,04 a	1,18 b	0,064	0,001
FND, kg/d	1,30 a	1,37 ab	1,31 ab	1,43 b	0,092	0,023

La ingesta de materia seca total registrada en la dieta SH no fue la que se esperaba considerando las características físicas y químicas de la cascarilla de soja. Al respecto, la literatura describe una serie de características para este subproducto que permitían predecir un mayor consumo de la dieta que la incluía. La primera se refiere a su peso específico (Grant, 1997), el cual puede variar entre 1,2 y 1,5 (Murphy *et al.*, 1989; Batthi y Firkins, 1995; Weidner y Grant, 1994 a), condición que permite duplicar la tasa de pasaje ruminal respecto al forraje (Nakanura y Owen, 1989); la segunda se refiere a la alta digestibilidad de la FND (97%) (Quicke *et al.*, 1959; Garlebet *et al.*, 1988; van Laar *et al.*, 1999), dado por el bajo contenido de lignina que posee, el cual puede variar entre 1,4% y 4,3% (Hsuet *et al.*, 1987); y el tercero se asocia a su pequeño tamaño de partícula (0,03% >1,18 mm, Mertens, 1997) indicando que valores menores a 1,5 mm tienen una alta tasa de pasaje (Anderson *et al.*, 1988). En base a todas estas condiciones se

esperaba que la ingesta de materia seca se incrementara como ocurrió en el trabajo de Ferreira *et al.* (2011), quienes registraron un crecimiento lineal en la ingesta a medida que se aumentaba el nivel de inclusión de SH en la dieta.

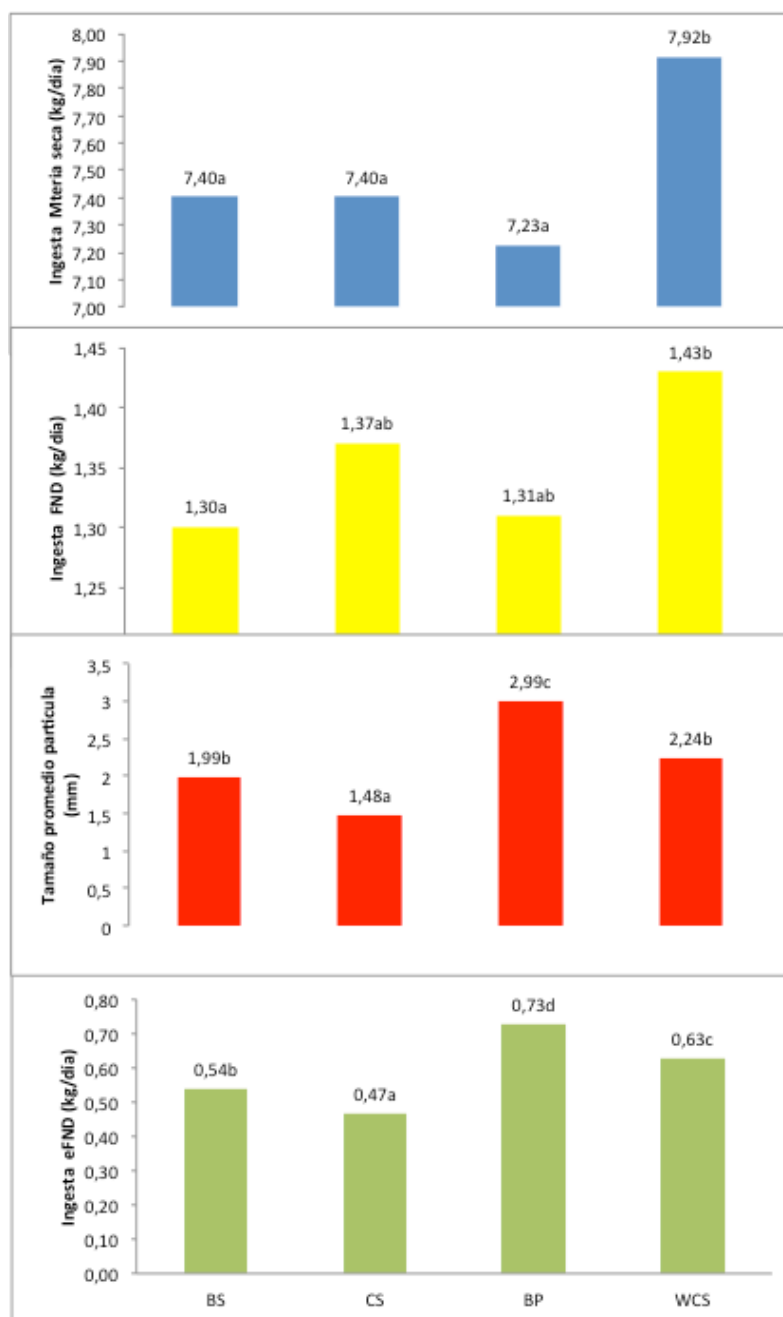


Figura 10. Ingesta de materia seca, FND y eFND y tamaño promedio de las partículas en dietas con fuentes de fibra forrajera (paja de cereales, BS) y no forrajera (Cascarilla de soja, CS; Pulpa de remolacha, BP y Semilla de algodón, WCS).

Por otro lado, la mayor ingesta de materia seca registrada para la dieta WCS no coincide con lo obtenido por Smith *et al.* (1981), quienes no registraron un incremento en la ingesta ante la sustitución de heno por semilla de algodón cuando ésta fue incluida en un 5%, 10% y 15% de la dieta, o con el estudio de Firkinset *al.* (2002) cuando reemplazaron el ensilado de alfalfa y maíz por este subproducto. Sin embargo, lo obtenido en nuestro experimento concuerda con el trabajo de Harvatineet *al.* (2002), quienes tuvieron un incremento en la ingesta de MO, de materia seca y de FND al incluir la semilla de algodón en un 15% de la dieta. Al respecto, Keeleet *al.* (1989) confirmaron este resultado y recomendaron hasta un 25% de inclusión en la dieta, sin que ello afecte la ingesta o la digestibilidad de la fibra. Esto último coincide con lo afirmado por Luginbuhlet *al.* (2000), quienes registraron en cabras un incremento en la ingesta de materia seca total al aumentar el nivel de inclusión de la semilla de algodón (8%, 16% y 24%) en una dieta a base de heno y concentrado. Cabe destacar que, en este último estudio, a medida que se incluía este subproducto en la dieta, se fue sustituyendo el heno en la ingesta diaria. Sin embargo, pese a que ocurrió esta sustitución, la ingesta de FND se mantuvo constante y su digestibilidad aumentó hasta el 16% de inclusión, para luego comenzar a disminuir. También Mooney y Allen (1997), confirmaron el impacto positivo que genera la sustitución de fibra forrajera por semilla de algodón. Incluso concluyen que la ingesta se incrementa en 0,8 kg/día, al sustituirla por ensilado de alfalfa de fibra larga y en 2,7 kg/día, cuando el tamaño de la fibra es más pequeño. Cabe señalar que Luginbuhlet *al.* (2000) reportaron una gran apetencia por este tipo de subproducto por parte de cabras desde el primer momento que se ofrece, aunque existen otros trabajos donde se indica lo contrario (Calbounet *al.*, 1991).

La falta de respuesta en la ingesta de materia seca obtenida ante la sustitución de paja de cereal por pulpa de remolacha fue similar al resultado obtenido por Beaucheminet *al.* (1991), Swain y Armentano (1994) y Voelker y Allen (2003b) al incluir este subproducto en lugar de heno de alfalfa, ensilaje de alfalfa y ensilaje de maíz grano húmedo, respectivamente.

En la Figura 10 se presenta el tamaño promedio de las partículas, para cada una de las dietas evaluadas. De acuerdo a estos resultados, la dieta con menor tamaño de partícula fue la dieta SH y la que presentó mayor tamaño fue la dieta BP, con un tamaño promedio de 1,54 mm y 2,99 mm, respectivamente. La dieta con paja presentó un tamaño de partícula menor que la dieta WCS. En base a los resultados obtenidos, no se obtuvo relación alguna entre el tamaño de partícula de la dieta y la ingesta de materia seca. Esta falta de correlación contrasta con lo afirmado por Anderson *et al.* (1988) que en dietas que presentan pequeño tamaño de partícula deberían de incentivar una mayor ingesta debido a su menor tiempo de retención ruminal.

La ingesta de eFND registrada para las distintas dietas se presentan en la Figura 10, destacándose la alta ingesta en la dieta con pulpa de remolacha, lo cual está asociado principalmente a la presencia de los pellet de pulpa. Le sigue la dieta con semilla de algodón, luego la dieta con paja de cereales y finalmente la que incluía cascarilla de soja. Esta última, pese a registrar un mayor contenido de FND que la semilla de algodón y la pulpa de remolacha, su menor tamaño de partícula hace que finalmente presente un menor contenido en eFND.

La correlación entre la eFND y la ingesta de materia seca para cada dieta se presenta en la Figura 11. El mayor coeficiente de determinación se obtuvo para la dieta que incluye la paja de cereal ($R^2=0,77$) y la semilla de algodón ($R^2=0,60$). Luego sigue la dieta con pulpa de remolacha ($R^2=0,43$) y, finalmente, la dieta con cascarilla de soja ($R^2=0,34$). Respecto a esta última dieta, Armentano y Pereira (1997) e Ipharraguerre y Clark (2003), tampoco obtuvieron relación entre la FND de la dieta que incluía SH y la ingesta de materia seca, lo cual fue atribuido a la diferencia en las características químicas y físicas de la FND de este subproducto que posee un potencial degradable mayor que la FND del forraje (Sarwar *et al.*, 1991; Pantoja *et al.*, 1994).

2.2 Efecto sobre la fermentación ruminal

En cuanto al efecto de las distintas NFFS sobre el pH ruminal, como se aprecia en la Figura 12 disminuyó fuertemente en los animales que ingirieron la dieta SH, llegando a un mínimo de 5,08 y permaneciendo 13,33 y 10,32 horas con un pH menor a 5,8 y 5,6, respectivamente. La explicación de este resultado está dentro de lo esperado considerando la alta digestibilidad de la FND (Hsuet *al.*, 1987) y de la baja fibra efectiva que posee esta dieta (Ipharraguerre, 2002a y 2002b). Según Batajoo y Shaver (1994), Harmison *et al.* (1997) y Mertens (1997), estas dos condiciones, sumado a un nivel de inclusión por sobre un 30% en la dieta, pueden provocar una disminución en la ingesta de materia seca. Sin embargo, en este estudio la inclusión en un 17% provocó la disminución del pH pero ésta no fue suficiente para afectar la ingesta, como señalan los autores antes mencionados.

La dieta BS, la cual contenía solo un 8% de paja, un tamaño de partícula menor que la dieta WCS y BP y una ingesta no muy elevada de eFND, fue capaz de mantener el pH por sobre de 5,8 durante 18,73 horas al día y registrar un pH mínimo de 5,68. Al respecto, cabe destacar que el tamaño de partícula promedio de esta dieta (1,99 mm) está por encima de los 1,18 mm que corresponde al tamaño mínimo para incentivar rumia (Mertens, 1997), con lo cual se reduce las posibilidades de caída en el pH.

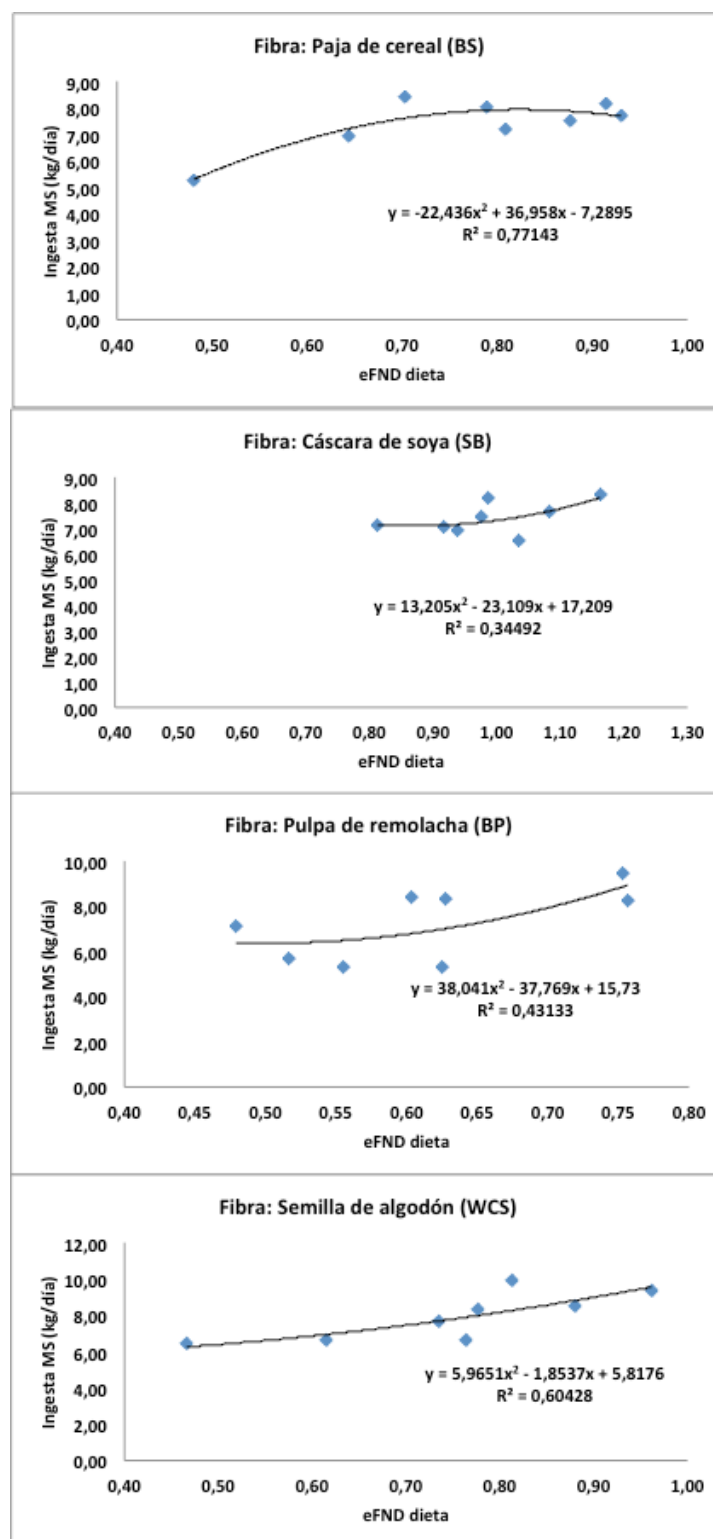


Figura 11. Correlación entre la eFND de las distintas fuentes de fibra y la ingesta de materia seca.

Cuando las vaquillas recibieron la dieta BP, el pH ruminal se redujo hasta un mínimo de 5,56, y se determinó que el número de horas que estuvo el pH por debajo de 5,8 y 5,6 fue 8,75 y 4,55 h, respectivamente. Cabe señalar además que el pH promedio registrado para esta dieta fue 6,26, el cual se encuentra al mismo nivel que el registrado para la dieta BS y WCS. Sin duda que este resultado es producto de la mayor ingesta de eFND y a la presencia de grupos carboxilo que le infieren una mayor capacidad tampón a la dieta (Van Soest *et al.*, 1991).

En cuanto a la dieta WCS, el pH promedio fue similar al obtenido por la dieta BS y BP (6,2). Sin embargo el pH mínimo fue similar al registrado para la dieta SH y BP (5,32), mientras que el número de horas con pH menor a 5,8 y a 5,6 (9,05 y 6,14, respectivamente) no fue diferente estadísticamente al determinado para la dieta BS y SH. La disminución del pH ante la inclusión de semilla de algodón fue coincidente a la respuesta obtenida por Harvatine *et al.* (2002), cuando sustituyeron ensilado de alfalfa por semilla de algodón. En este caso la disminución del pH se atribuyó a una mayor oferta de materia orgánica y a la disminución de la capacidad de intercambio catiónico que ocurre ante la disminución del ensilado de alfalfa. Otra explicación de esta disminución se atribuye, según Van Nevel y Demeyer (1996) y Harvatine *et al.* (2002), al aumento de la biohidrogenación del C18:0 que ocurre por la inclusión de este subproducto.

Keele *et al.* (1989), al sustituir cebada por semilla de algodón e incluirla en un 12,7% y un 25,3% de la dieta registraron un incremento en la concentración de acetato, mientras que el propionato sólo se incrementó hasta el primer nivel de inclusión y luego se mantuvo. Por su parte el butirato disminuye, cuando se incluye por encima del 12%, lo cual se debe a la mayor ingesta de aceite o ácidos grasos de cadena larga lo que disminuye la población de protozoos en el rumen (Pena *et al.*, 1986). Además la concentración de N-NH₃ se incrementa con el aumento de semilla en la dieta.

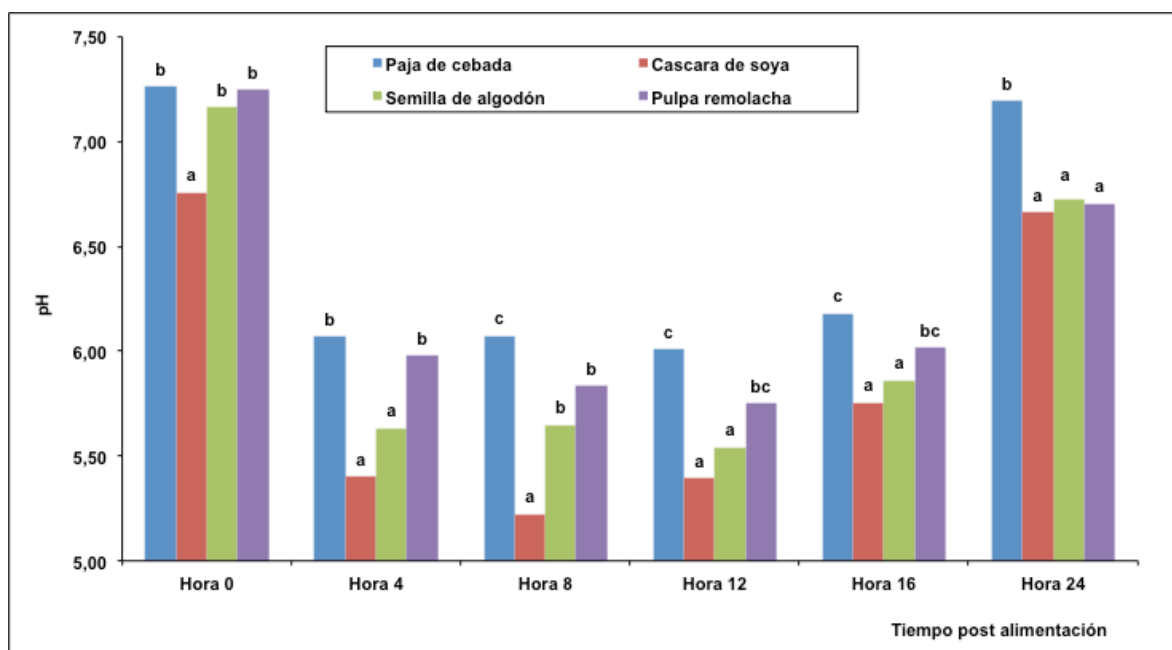


Figura 12. Efecto de la inclusión de fibra no forrajera sobre el pH ruminal de vaquillas.

2.3 Efecto sobre el comportamiento

El comportamiento de ingesta de alimento que registraron las vaquillas para las distintas dietas se presenta en la Figura 13. Se aprecia un patrón de ingesta similar para las dietas BS, WCS y BP, con un pico en el intervalo 5 (08:00-09:00) que corresponde al momento del día en el que se ofrece el alimento y luego en el intervalo 9 (16:00-17:00). Sin embargo, de las tres dietas se destaca que las vaquillas al recibir la dieta con pulpa de remolacha, el intervalo que registró mayor actividad de ingesta fue el intervalo 6 ($P \leq 0,01$). Es interesante destacar el caso de las vaquillas que recibieron la dieta con cascara de soja, las cuales registraron un patrón de ingesta distinto, con un pico nocturno (22:00-23:00) de máxima actividad y una mayor regularidad de ingesta a lo largo del día.

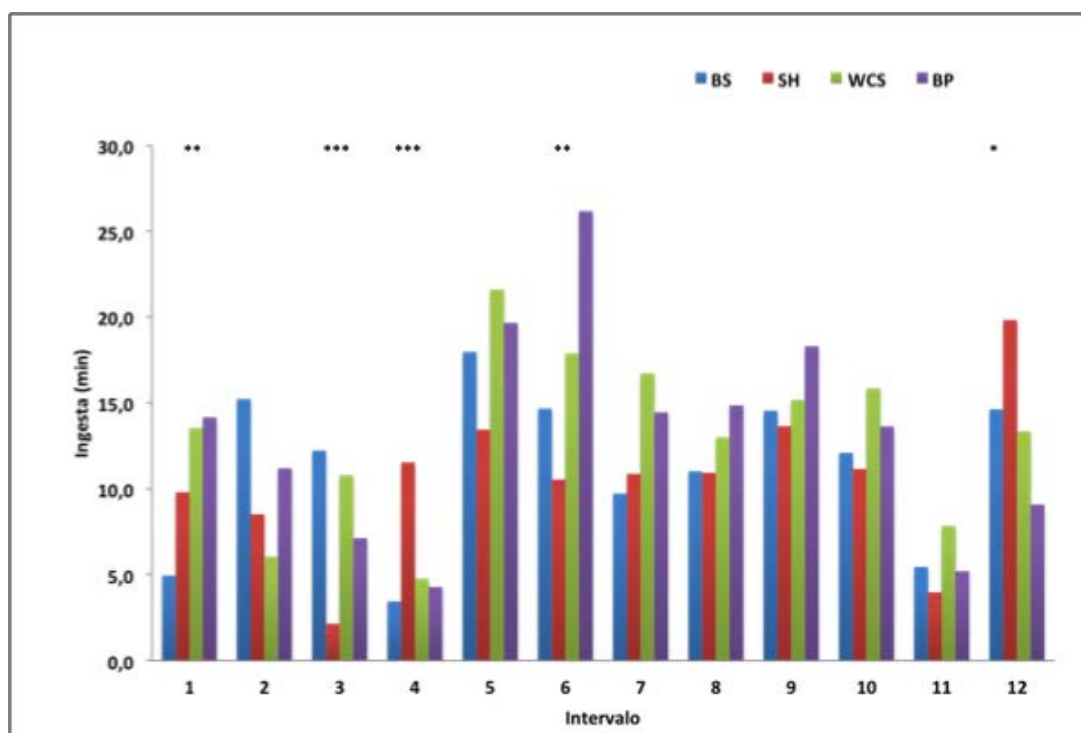


Figura 13. Tiempo destinado a la ingesta de materia seca registrado para las dietas con distintos tipos de NFFS, ordenados por intervalos de dos horas. Intervalo 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 y 12 corresponde al rango 00:00-01:00, 02:00-03:00, 04:00-05:00, 06:00-07:00, 08:00-09:00, 10:00-11:00, 12:00-13:00, 14:00-15:00, 16:00-17:00, 18:00-19:00, 20:00-21:00 y 22:00-23:00, respectivamente. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.

El estudio del comportamiento alimenticio medido a través de los comederos balanza dieron como resultado que el tiempo de ingesta diario (45,3 minutos/día), el número de visitas (39), el tamaño de la comida por visita (0,210 kg) y la tasa de ingesta (0,180 kg/minuto) fue similar para las cuatro dietas. Por su parte, el tiempo que se prolongó cada visita en el comedero fue menor para la dieta BP (1,10 minutos) y mayor para la dieta BS y SH (1,21 minutos) ($P=0,021$). Al relacionar estos resultados con las características físicas y químicas de las dietas (Tabla 5), se obtuvo que las vaquillas, cuando recibieron una dieta con menor tamaño promedio de partícula (dietas SH y BS), la ingesta de eFND fue menor y permanecieron más tiempo en el comedero. Por su parte las dietas BP y WCS presentaron mayor tamaño de partícula, mayor ingesta de eFND y menor tiempo

de visita al comedero. Estos resultados están relacionados dado que las características físicas y químicas de la dieta con mayor FND y tamaño de partícula limitan o restringen su periodo de ingesta, ya que su velocidad de paso se reduce al incrementar el volumen de la matriz ruminal (Mertens, 1997). Sin embargo, al considerar la tasa de ingesta de la materia seca, estos resultados resultaron contradictorios ya que fue similar para todas las dietas.

Cabe destacar que hubo diferencias entre los resultados de comportamiento alimenticio obtenidos a través de los comederos balanza y los presentados en la Figura 13. Estas diferencias radican principalmente en el método de medición utilizado. Lo que se presenta en la Figura 13 corresponde al tiempo que el animal permanece con el hocico en y/o sobre el comedero, mientras que lo registrado por los comederos–balanzas es el tiempo en que efectivamente el animal extrae o ingiere alimento, por lo tanto resulta un valor más real de ingesta.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 5, el tamaño de partícula del alimento no afectó al tiempo de ingesta pero si que se obtuvo una relación con el tiempo de rumia y de masticación. Para la dieta SH, se registró una disminución significativa en el tiempo de masticación y rumia respecto a la dieta control (BS) y a la dieta WCS. La reducción en el tiempo de rumia registrado en este estudio es concordante con lo que señalan Allshouse *et al.* (1991), Weidner y Grant (1994 a, 1994b), Harmison *et al.* (1997), Slater *et al.* (2000) y Ferreira *et al.* (2011), quienes a su vez sugieren no sustituir el forraje por cáscara de soya como fuente de fibra, dado que sus características físicas y químicas aseguran un incentivo para la rumia. Reforzando la idea, Mertens (1997) justifica el menor tiempo de rumia y masticación al determinar que la fracción de este subproducto capaz de incentivar la rumia (>1,18 mm) es sólo un 0,03% de la materia seca, lo que significa una eFND del 2,0%, el cual resulta muy inferior respecto a la eFND del heno de gramínea el cual alcanza a un 67%. Sin embargo, todos estos resultados se contradicen con el obtenido por Slater *et al.* (2000), quienes al sustituir ensilado de alfalfa por cascarilla de soja en un 3,4% y un 23% no obtuvieron una disminución en el tiempo diario de masticación.

Tabla 5. Tiempo promedio (min/día) destinado a diversas actividades relacionadas con el comportamiento alimenticio y los resultados del proceso fermentativo según las NFFS incluidas en la dieta del cebo de vaquillas.

Actividad	Dieta			
	BS	SH	BP	WCS
eFND (kg/día)	0,54b	0,47a	0,73d	0,63c
Ingesta (min/día)	74,47	77,02	95,35	92,00
Rumiar (min/día)	294,44b	168,34a	166,02a	248,58b
Masticar (min/día)	368,9b	246,0a	259,4a	340,5b
Largo visita comedero (min)	1,22b	1,19b	1,10a	1,16ab
pH ruminal promedio	6,38b	5,87a	6,26b	6,20ab
Area total pH<5,8	28,06a	72,68b	47,42ab	49,90ab

En el caso de la dieta BP, cuyo tamaño de partícula e ingesta de eFND fue superior a la de los demás tratamientos, presentó, contrariamente a lo esperado, similar tiempo de rumia que la dieta SH y, a la vez, muy por debajo de lo registrado con la dieta con paja de cereales con semilla de algodón, Tabla 5. Este resultado no coincide con lo señalado por Van Soest *et al.* (1991) y Bhatti y Firkins (1994), quienes indicaron que, por las condiciones de su mayor capacidad de retención de agua y bajo peso específico, permiten incentivar la rumia. Este resultado tampoco coincide con el resultado obtenido por Beauchemin *et al.* (1991), quienes obtuvieron similar ingesta de FND y tiempo de rumia al reemplazar el heno de alfalfa por pulpa de remolacha. Sin embargo, la disminución del tiempo de rumia registrado tiene relación con lo que propone Welch y Smith (1971), quienes señalan que la pulpa de remolacha tiene un 58,8% y un 70,9% de efectividad para inducir rumia respecto al heno, si se considera por unidad de materia seca o de FND.

En nuestro estudio vimos que la dieta SH y BP registraron similar tiempo de rumia y, con ello, una efectividad similar para incentivarla. Esto resulta contradictorio con

lo afirmado por Swain y Armentano (1994) quienes determinaron que la pulpa de remolacha tiene las condiciones físicas para incentivar la rumia, al presentar un tamaño superior a 1,18 mm, mientras que el tamaño promedio de la cascarilla de soja es sólo de 0,45 mm (Mertens, 1997). Este resultado confirma lo propuesto por Vargas *et al* (1998) quienes destacan que la variación de la efectividad de la FND de las NFFS es mayor que la del forraje debido a su gran variación en el tamaño de partícula y en la velocidad de paso ruminal.

Las vaquillas que recibieron la dieta WCS registraron un 16,6% más de ingesta de eFND respecto a las que recibieron la dieta BS (0,63 vs 0,54, Figura 9). Sin embargo pese a esta superioridad en la ingesta, ambas registraron similar tiempo de rumia y de masticación (Tabla 5). Este resultado concuerda con lo que señala Belyea *et al* (1989), Clark y Armentano (1993), Grant (1997) y Mertens (1997), quienes atribuyen a la semilla de algodón una mayor efectividad para incentivar la masticación de entre todas las NFFS. El mayor tiempo registrado para la rumia y la masticación registrado por las vaquillas que recibieron la dieta WCS valida la hipótesis de Coppocket *et al* (1985), quienes atribuyen esta respuesta a la menor velocidad de paso que tiene este subproducto que por sus características físicas queda atrapada por más tiempo en la matriz ruminal. En base a los resultados obtenidos, la semilla de algodón tendría un 84% de efectividad para incentivar rumia y masticación respecto a la paja de cereales, porcentaje que coincide con lo reportado por Mertens (1987) y Clark y Armentano (1993), quienes determinaron que la efectividad de este subproducto para incentivar la masticación es un 85% respecto al heno. Incluso estos últimos autores señalan que la efectividad de la FND de la semilla de algodón es 1,3 veces mayor que la de la FND del heno. Por ello Slater *et al* (2000) proponen reducir la FND del forraje, cuando es reemplazado por este tipo de subproducto. Otros autores determinaron que la efectividad de la semilla de algodón puede ser un 50% respecto a un ensilado de alfalfa de tamaño de partícula de 11,4 mm, pero puede incrementarse a un 127% respecto a un ensilado de tamaño equivalente a 5,8 mm (Money y Allen, 1997).

Por otro lado la sustitución de la paja de cereal por la semilla de algodón en dietas de vaquillas en cebadero dieron como resultado una similar ingesta de materia

seca, ganancia de peso y relación G:F, independientemente si la paja se ofreció separada del pienso o como dieta mixta completa. Tabla 6. Al respecto, Luginbuhlet *al.* (2000) registraron una menor ganancia de peso en caprinos, al aumentar la proporción de semilla de algodón en la dieta.

Tabla 6. Características de las dietas usadas en el cebo de las vaquillas en los experimentos 2 y 3 y las respuestas productivas y de comportamiento alimenticio registradas

	Experimento 2		Experimento 3		
	BS-TMR	WCS-TMR	BS-CH	BS-TMR	WCS-TMR
Fuente de Fibra (%)	10%	16%	Ad libitum (4,3%)	8%	16%
Ingesta MS (kg /día)	7,4b	7,9a	7,7	8,4	8,1
Ingesta FND (kg/día)	1,3b	1,4a	1,5ab	1,6a	1,4b
GPV (kg/día)	--	--	1,340	1,392	1,357
G:F	--	--	0,185	0,171	0,172
Rumia (min/día)	294	249	240b	309a	247b
Masticación (min/día)	369	341	342b	395a	328b

En cuanto al comportamiento alimenticio que presentan las vaquillas en cebo, a diferencia de los resultados obtenidos anteriormente (EXP 2) en los que no se encontraron diferencias en los tiempos de rumia y masticación (Tabla 6), el tiempo dedicado a realizar estas actividades fue superior para el grupo de animales que recibió la dieta de pienso y paja como TMR (BS-TMR) que los registrados en las dietas WCS-TMR y BS-CH. Esto podría explicarse por el hecho que si bien en el segundo experimento la ingestión de materia seca y de FND fue superior en las vaquillas que recibieron la dieta WCS-TMR, en el último experimento la ingestión de FND fue más elevada en la dieta BS-TMR, a pesar de que la paja sólo participaba en un 8% de la dieta cuando en el otro experimento (EXP 2) el nivel de inclusión fue de un 10 %. La baja ingestión de paja que realizaron las terneras alimentadas con la dieta BS-CH y la similar ingesta de MS y de FND registrada con las dietas BS-CH y WCS-TMR, explicarían que las actividades de rumia y de masticación en estas dos dietas fueran también similares.

3. Referencias bibliográficas

- Allshouse, R. D., J. G. Welch, R. H. Palmer, and A. M. Bueche. 1991. Effect of source of neutral detergent fiber on rumination activity in steers fed hay, oat hulls, and soyhulls. *J. Dairy Sci.* 74(Suppl. 1):186. (Abstr.)
- Anderson, S. J., J. K. Merrill, M. L. McDonnell, and T. J. Klopfenstein. 1988. Digestibility and utilization of mechanically processed soybean hulls by lambs and steers. *J. Anim. Sci.* 66: 2965.
- Armentano, L. E., and M. Pereira. 1997. Measuring effectiveness of fiber by animal response trials. *J. Dairy Sci.* 80:1416.
- 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
- Batajoo, K. K., and R. D. Shaver. 1994. Impact of non-fiber carbohydrate on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:1580.
- Batthi, S. A. and J. L. Firkins. 1994. Kinetics of hydration and functional specific gravity of fibrous feed by-products. *J. Anim. Sci.* 73:1449.
- Beauchemin, K. A., B. I. Farr, and L. M. Rode. 1991. Enhancement of the effective fiber content of barley-based concentrates fed to dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3128.
- Belyea, R. L., B. J. Steevens, R. J. Restrepo, and A. P. Clubb. 1989. Variation in composition of by-product feeds. *J. Dairy Sci.* 72:2339.

- Calhoun, M., and C. Holmberg. 1991. Safe use of cotton by-products as feed ingredients for ruminants: A review. Pages 97–129 in *Cattle Research with Gossypol Containing Feeds*. L. A. Jones, D. H. Kinard, and J. S. Mills, ed. Natl. Cottonseed Products Assoc., Memphis, TN.
- Clark, P. W., and L. E. Armentano. 1993. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. *J. Dairy Sci.* 76:2644–2650.
- Coppock C, E., J. R. Moya, J. W. West, D. H. Nave, and J. M. Labore. 1985. Effect of lint on whole cottonseed passage and digestibility and diet choice on intake of whole cottonseed y Holstein cows. *J Dairy Sci.* 68:1207-1214
- Defoor, P. J., M. L. Galyean, G. B. Salyer, G. A. Nunnery, and C. H. Parsons. 2002. Effects of roughage source and concentration on intake and performance by finishing heifers. *J. Anim. Sci.* 80:1395–1404.
- Devant, M, A. Ferret, J. Gasa, S. Calsamiglia and R. Casals. 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. *J. Anim Sci.* 78:1667-1676.
- Faleiro, A. G.; L. A. González, M. Blanch, S. Cavini, L. Castells, J. L. Ruiz de la Torre, X. Manteca, S. Calsamiglia and A. Ferret. 2011. Performance, ruminal changes, behaviour and welfare of growing heifers fed a concentrate diet with or without barley straw. *Animal* (2011), 5:2, pp 294–303
- Ferreira, E. M., A. V. Pires, I. Susin, C. Q. Mendes, R. S. Gentil, R. C. Araujo, R. C. Amaral. and S. C. Loerch. 2011. Growth, feed intake, carcass characteristics, and eating behavior of feedlot lambs fed high-concentrate diets containing soybean hulls. *J. Anim. Sci.* 89:4120-4126.

- Firkins J. L., D. I. Harvatine, J. T. Sylvester, and M. L. Eastridge. 2002. Lactation performance by dairy cows fed wet brewers grains or whole cottonseed to replace forage. *J. Dairy Sci.* 85:2662–2668.
- Galyean M. L. and P. J. Defoor. 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81:E8-E16.
- Garleb, K. A., G. C. Fahey, Jr., S. M. Lewis, M. S. Kerley, and L. Montgomery. 1988. Chemical composition and digestibility of fiber fractions of certain by-product feed stuffs fed to ruminants. *J. Anim. Sci.* 66:2650.
- González, L. A.; A. Ferret, X. Manteca, J. L. Ruíz-de-la-Torre, S. Calsamiglia, M. Devant and A. Bach. 2008. Effect of the number of concentrate feeding places per pen on performance, behavior, and welfare indicators of Friesian calves during the first month after arrival at the feedlot. *J. Anim. Sci.* 86:419-431.
- González, L. A.; L. B. Correa, A. Ferret, X. Manteca, J. L. Ruíz-de-la-Torre, S. Calsamiglia. 2009. Intake, water consumption, ruminal fermentation, and stress response of beef heifers fed after different lengths of delays in the daily feed delivery time. *J. Anim. Sci.* 87:2709-2718.
- Grant, R. J. 1997. Interactions among forages and non-forage fiber sources. *J. Dairy Sci.* 80:1438-1446
- Guthrie, M.J., M. L. Galyean, K. J. Malcolm-Callis, and G. C. Duff. 1996. Roughage source and level in beef cattle finishing diets. *Anim. Sci.* 12:192–198.
- Harmison, B., M. L. Eastridge, and J. L. Firkins. 1997. Effect of percentage of dietary forage neutral detergent fiber and source of starch on performance of lactating Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 80:905–911.

- Harvatiné D. I., J. L. Firkins, and M. L. Eastridge. 2002. Whole linted cottonseed as a forage substitute fed with ground or steam-flaked corn: digestibility and performance. *J. Dairy Sci.* 85:1976–1987
- Hsu, J. T., D. B. Faulkner, K. A. Garleb, R. A. Barclay, G. C. Fahey, Jr., and L. L. Berger. 1987. Evaluation of corn fiber, cottonseed hulls, oat hulls, and soybean hulls as roughage sources for ruminants. *J. Anim. Sci.* 65:244–255.
- Ipharraguerre, I. R., R. R. Ipharraguerre, and J. H. Clark. 2002a. Performance of lactating dairy cows fed varying amounts of soy- hulls as a replacement for corn grain. *J. Dairy Sci.* 85:2905–2912.
- Ipharraguerre, I. R., Z. Shabi, J. H. Clark, and D. E. Freeman. 2002b. Ruminal fermentation and nutrient digestion by dairy cows fed varying amounts of soyhulls as a replacement for corn grain. *J. Dairy Sci.* 85:2890–2904.
- Ipharraguerre, I. R., and J. H. Clark. 2003. Soyhulls as an alternative feed for lactating dairy cows: A review. *J. Dairy Sci.* 86:1052–1073.
- Keele, J. W., R. E. Roffler and K. Z. Beyers. 1989. Ruminal metabolism in nonlactating cows fed whole cottonseed or extruded soybeans. *J. Anim. Sci.* 67:1612-1622
- Kononoff, P. J., and A. J. Heinrichs. 2003. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 86:2438–2451.
- Luginbuhl, J. M., M. H. Poore and A. P. Conrad. 2000. Effect of level of whole cottonseed on intake, digestibility, and performance of growing male goats fed hay-based diets. *J. Anim. Sci.* 78:1677-1683.
- Mach, N., M. Devant, I. Díaz, M. Font-Furnols, M. A. Oliver, J. A. García and A. Bach. 2006. Increasing the amount of n-3 fatty acid in meat from young Holstein bulls through nutrition. *J. Anim. Sci.* 84:3039-3048.

- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:1463–1481
- Mooney C. S. and M. S. Allen. 1997. Physical Effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linted cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. *J. Dairy Sci.* 80:2052-2061
- Moore, J. A., M. H. Poore and R S. Swingle. 1987. The saving procedure for determining dry matter (DM) and neutral detergent fiber (NDF) content in residues from in situ incubations. *J. Anim. Sci.* 65 (Suppl. 1):487
- Murphy, M. R., P. M. Kennedy, and J. G. Welch. 1989. Passage and rumination of inert particles varying in size and specific gravity as determined from analysis of faecal appearance using multi compartment models. *Br. J. Nutr.* 62:481
- Nakamura.T. and F. G. Owen. 1989. High amounts of soyhulls for pelleted concentrate diets. *J. Dairy Sci.* 72:988.
- Pantoja, J. L. Firkins,, M. L. Eastridge, and B. L. Hull. 1994. Effects of fat saturation and source of fiber on of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:2341-2356
- Pena, F., H. Tagari and L. D. Setter. 1986. The effect of heat treatment of whole cottonseed on site and extent of protein digestion in dairy cows. *J. Anim. Sci.* 62:1423-1433.
- Poore, M. H., J A Moore and R S Swingle. 1990. Differential passage rates and digestion of neutral detergent fiber from grain and forages in 30, 60 and 90% concentrate diets fed to steers. *J. Anim. Sci.* 68:2965-2973.
- Quicke. G. V., C. G. Bentley, H. W. Scott, R. R. Johnson, and A. L. Moxon. 1959. Digestibility of soybean hulls and flakes and the in vitro digestibility of the cellulose in various milling by-products. *J. Dairy Sci.* 42: 185-186.

- Robles, V.; L. A. González, A. Ferret, X. Manteca and S. Calsamiglia. 2006. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behavior in heifers fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 2007, 85:2538-2547.
- Sarwar, M., J. L. Firkins, and M. L. Eastridge. 1991. Effect of replacing neutral detergent fiber of forage with soyhulls and corn gluten feed for dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 74:1006.
- 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. *J. Anim. Sci.* 77:1082–1092.
- Slater A. L., M. L. Eastridge, J. L. Firkins, and L. J. Bidinger. 2000. Effects of starch source and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:313-321
- Smith N. E., L. S. Collar, D. L. Bath, W. L. Dunkley and A. A. Franke. 1981. Digestibility and effect of whole cottonseed fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 64: 2209-2215
- Stock, R. A., D. R. Brink, R. A. Britton, F. K. Goedeken, M. H. Sindt, K. K. Kreikemeier, M. L. Bauer, and K. K. Smith. 1987. Feeding combinations of high moisture corn and dry-rolled grain sorghum to finishing steers. *J. Anim. Sci.* 65:290-302.
- Swain, S. M and L. E. Armentano. 1994. Quantitative Evaluation of fiber from non-forage sources used to replace alfalfa silage. *J. Dairy Sci.* 77:2318-2331
- vanLaar, H., S. Tamminga, B. A. Williams, M. W. A. Verstegen, and F. M. Engels. 1999. Fermentation characteristics of cell-wall sugars from soya bean meal,

- and from separated endosperm and hulls of soya beans. *Anim. Feed Sci. Technol.* 79:179–193.
- Van Nevel, C. J., and D. I. Demeyer. 1996. Influence of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents in vitro. *Reprod. Nutr. Dev.* 36:53–63.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583.
- Varga G. A., H. M. Dann, and V. A. Ishler. 1998. The use of fiber concentrations for ration formulation. *J. Dairy Sci.* 81:3063-3074
- Voelker J. A. and M. S. Allen. 2003b. Pelleted Beet Pulp substituted for high-moisture corn: 2. Effects on digestion and ruminal digestion kinetics in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:3553–3561
- Weidner, S. J., and R. J. Grant. 1994a. Soyhulls as a replacement for forage fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:513–521.
- Weidner, S.J., and R. J. Grant. 1994b. Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:522–531.
- Welch, J. G., and A. M. Smith. 1971. Effect of beet pulp and citrus pulp on rumination activity. *J. Anim. Sci.* vol. 33, no. 2
- Welch, J. G. 1982. Rumination, particle size and passage from the rumen. *J. Anim. Sci.* 54:885-894

CAPITULO VII

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en este estudio se concluye lo siguiente:

1.- El uso, en el cebo de terneras de menos de 200 kg de peso vivo, de una dieta mixta completa suministrada *ad libitum* a base de pienso y paja de cebada frente a su suministro por separado y también *ad libitum*, redujo la ingesta de pienso y de materia seca total, tendió a hacer disminuir la ganancia de peso, e incrementó la ingesta de paja, con lo que el índice de conversión no varió.

2.- La oferta de pienso y paja por separado y *ad libitum* como dieta mixta completa, también suministrada *ad libitum*, en el cebo de terneras de más de 250 kg de peso vivo no afectó la ingestión de materia seca total, la ganancia de peso y el índice de conversión.

3.- En el cebo de terneras de menos de 200 kg de peso vivo, el tiempo de ingesta no se vio afectado por la forma de suministrar el alimento, sin embargo en el cebo de las terneras de más de 250 kg la duración de esta actividad aumentó cuando el pienso y la paja se suministraron por separado y *ad libitum*. Sin embargo, al suministrar la paja a través de una dieta mixta completa y ofrecida *ad libitum*, se incentivó, tanto en terneras de menos como de más de 200 kg, el tiempo de rumia y de masticación. Por todo ello, el uso de dietas mixtas completas a base de pienso y paja en el cebo de terneras sería una buena estrategia para incentivar el consumo de paja y la actividad masticatoria, y reducir, por tanto, el riesgo de padecer acidosis ruminal.

4.- En dietas para terneras de menos de 200 kg de peso vivo basadas en el suministro de pienso y paja *ad libitum*, tanto por separado como en mezcla, la ingestión de fibra que aporta el pienso es el factor que mejor explica la variación en la actividad ruminatoria ($R^2 = 0,50$), siendo la ingesta de FND procedente del pienso, responsable del 79 % de la variación del tiempo total de masticación.

5.- El uso de cascarilla de soja (17 % de inclusión) como fuente de fibra no forrajera en el cebo de terneras de más de 250 kg de peso vivo en sustitución de

la paja de cebada (10 % de inclusión), ambas dietas ofrecidas como mixtas completas y *ad libitum*, no afectó la ingestión de materia seca y de FND, incrementó la ingestión de proteína, y redujo el pH ruminal medio y mínimo y la relación acetato:propionato, así como el tiempo dedicado a las actividades de rumia y de masticación.

6.- El uso de pellets de pulpa de remolacha (17 % de inclusión) como fuente de fibra no forrajera en el cebo de terneras de más de 250 kg de peso vivo en sustitución de la paja de cebada (10 % de inclusión), ambas dietas ofrecidas como mixtas completas y *ad libitum*, no afectó la ingestión de materia seca, de FND y de proteína, tampoco afectó el pH ruminal medio y mínimo y la relación acetato:propionato, pero redujo el tiempo dedicado a las actividades de rumia y de masticación.

7.- El uso de semilla de algodón (16 % de inclusión) como fuente de fibra no forrajera en el cebo de terneras de más de 250 kg de peso vivo en sustitución de la paja de cebada (10 % de inclusión), ambas dietas ofrecidas como mixtas completas y *ad libitum*, incrementó la ingestión de materia seca, de FND y de proteína, no afectó el pH ruminal medio y mínimo, redujo la relación acetato:propionato, mientras que tampoco afectó el tiempo dedicado a las actividades de rumia y de masticación.

8.- La semilla de algodón (16 % de inclusión) usada en dietas para terneras de más de 250 kg de peso vivo cuando éstas están en condiciones de competencia, no afectó la ingestión de materia seca, la ganancia de peso o el índice de conversión al comparar estas variables con las registradas al usar paja de cebada, tanto si esta se suministra por separado o bien mezclada en el pienso. En cambio la ingestión de proteína fue más elevada al usar semilla de algodón y la ingestión de FND fue más baja que la de dieta con paja cuando ésta fue suministrada en dieta mixta completa, pero similar a la de la paja, cuando se distribuyó separada del pienso.

9.- El tiempo de rumia y de masticación de terneras de más de 250 kg de peso vivo cuando éstas están en condiciones de competencia en el comedero y se les suministra una mezcla mixta completa que incorporó semilla de algodón en un 16% como fuente de fibra no forrajera, fue el mismo que el que dedicaron terneras que recibieron paja de cebada suministrada por separado del pienso, pero menor que el de otras terneras a las que se suministró la paja (8 % de inclusión) mezclada con el pienso. Por lo tanto, la semilla de algodón sería, de las tres fuentes de fibra utilizadas, la única que sería capaz de reemplazar la paja de cereal en el cebo de terneras siempre que el consumo de fibra alcanzado con la semilla de algodón esté por encima o al mismo nivel del registrado con la paja.

10.- La ingesta de una dieta de cebo para terneras de más de 250 kg de peso vivo que incluyó semilla de algodón en un 16% no afectó la calidad de la canal o de la carne, pero incrementó el contenido de C17:0, C18:1nT y la relación n-6:n-3 en el músculo *Longissimus thoracis* y a la vez disminuyó el contenido de C18:1(n-9), respecto a la dietas que aportaban paja de cebada, tanto si ésta se suministraba por separada o bien mezclada en el pienso. Este incremento de la ratio omega-6:omega-3 estaría en desacuerdo a las recomendaciones dietéticas actuales que aconsejan una ratio media de la dieta humana que se sitúa en el 5 a 1.

