

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE PROTEÍNA CRUDA EN DIETAS A BASE
DE SORGO GRANO SOBRE LA PERFORMANCE DE TERNEROS DE
DESTETE PRECOZ ALIMENTADOS A CORRAL

por

Francisco PÉREZ GÜIDA

Santiago RISSO ERCOLE

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO

URUGUAY

2016

Tesis aprobada por:

Director:

.....

Ing. Agr. (MSc.) (Dra.) Virginia Beretta

.....

Ing. Agr. (MSc.) (PhD.) Álvaro Simeone

.....

Dr. (MSc.) Juan Franco

Fecha: 11 de abril de 2016

Autores:

.....

Francisco Pérez Gúida

.....

Santiago Risso Ercole

AGRADECIMIENTOS

A los profesores Virginia Beretta y Álvaro Simeone por la constante dedicación brindada en cada una de las etapas de trabajo.

Al funcionario de la EEMAC Diego Mosqueira por su disposición durante la etapa experimental.

A nuestros compañeros por la ayuda brindada durante el experimento y a todos aquellos que de alguna manera colaboraron.

Y a nuestras familias por el apoyo brindado durante toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 INTRODUCCIÓN.....	3
2.2 METABOLISMO PROTEICO.....	4
2.2.1 <u>Proteína metabolizable</u>	4
2.2.2 <u>Importancia relativa de la proteína degradable en el rumen y proteína no degradable en el rumen de la dieta</u>	8
2.3 REQUERIMIENTOS DE PROTEÍNA METABOLIZABLE.....	11
2.4 EFECTO DEL NIVEL DE PROTEÍNA CRUDA EN LA DIETA SOBRE LA PERFORMANCE DE LOS TERNEROS.....	13
2.4.1 <u>Ganancia media diaria</u>	17
2.4.2 <u>Consumo de materia seca</u>	19
2.4.3 <u>Eficiencia de conversión</u>	21
2.5 EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO.....	22
2.6 METABOLISMO ENERGÉTICO.....	23
2.6.1 <u>Granos como fuente de energía</u>	23
2.6.2 <u>Degradación del almidón</u>	24
2.6.3 <u>Diferencias en la digestión de granos de maíz y sorgo</u>	26
2.6.4 <u>Sincronización energética-proteica en el rumen</u>	29
2.6.5 <u>Efecto de utilizar maíz vs. sorgo como fuente de almidón sobre la performance animal</u>	30
2.7 HIPÓTESIS.....	31
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	32
3.1 LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL.....	32

3.2	CLIMA.....	32
3.3	INFRAESTRUCTURA.....	32
3.4	ANIMALES.....	32
3.5	ALIMENTOS.....	32
3.6	TRATAMIENTOS.....	33
3.7	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	33
3.7.1	<u>Período pre-experimental</u>	33
3.7.2	<u>Período experimental</u>	34
3.8	MANEJO SANITARIO.....	34
3.9	DETERMINACIONES.....	35
3.9.1	<u>Peso vivo y altura al anca</u>	35
3.9.2	<u>Consumo de materia seca</u>	35
3.9.3	<u>Contenido de materia seca del alimento ofrecido y residual</u>	35
3.9.4	<u>Digestibilidad aparente</u>	35
3.9.5	<u>Nitrógeno ureico en sangre</u>	36
3.9.6	<u>Registros climáticos</u>	36
3.10	EFICIENCIA DE CONVERSIÓN.....	36
3.11	ANÁLISIS QUÍMICOS.....	36
3.12	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	37
4.	<u>RESULTADOS</u>	39
4.1	REGISTROS CLIMÁTICOS.....	39
4.2	CALIDAD DEL ALIMENTO OFRECIDO Y RESIDUAL.....	39
4.3	PESO VIVO, ALTURA AL ANCA Y RELACIÓN PESO VIVO / ALTURA AL ANCA.....	41
4.4	CONSUMO DE MATERIA SECA, GANANCIA MEDIA DIARIA Y EFICIENCIA DE CONVERSIÓN.....	43
4.5	DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, MATERIA ORGÁNICA, PROTEÍNA CRUDA Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO.....	47
4.6	NITRÓGENO UREICO EN SANGRE.....	48
5.	<u>DISCUSIÓN</u>	50

5.1	CLIMA.....	50
5.2	CALIDAD DEL ALIMENTO OFRECIDO, RECHAZADO Y CONSUMIDO.....	50
5.3	EFEECTO DEL NIVEL DE PROTEÍNA CRUDA SOBRE LA PERFORMANCE ANIMAL MEDIDA A TRAVÉS DE CMS, GMD Y EC	52
5.4	EFEECTO DE LA FUENTE DE ALMIDÓN SOBRE LA PERFORMANCE ANIMAL MEDIDA A TRAVÉS DE CMS, GMD Y EC	57
5.5	EFEECTO DEL NIVEL DE PROTEÍNA Y TIPO DE GRANO SOBRE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO	60
5.6	EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO SEGÚN NIVEL DE PROTEÍNA Y TIPO DE GRANO	61
5.7	DISCUSIÓN GENERAL E IMPLICANCIAS PRÁCTICAS.....	62
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	65
7.	<u>RESUMEN</u>	66
8.	<u>SUMMARY</u>	67
9.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	68
10.	<u>ANEXOS</u>	78

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Síntesis de resultados de experimentos evaluando la performance de terneros en confinamiento consumiendo dietas altamente concentradas difiriendo en el contenido de proteína cruda.....	16
2. Composición de los granos de maíz y sorgo.....	27
3. Respuesta de los terneros a las distintas dietas.....	30
4. Composición de los concentrados experimentales (valores expresados como porcentaje de la materia seca).....	33
5. Temperatura (T) media, máxima y mínima y precipitaciones durante el período experimental.....	39
6. Composición química del alimento ofrecido (RTM) y del rechazo según tratamiento.....	40
7. Peso vivo inicial y efecto del tratamiento sobre el peso vivo, altura al anca y relación peso/altura a la salida del corral.....	42
8. Efecto del nivel de proteína cruda en la dieta sobre el consumo de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro, ganancia media diaria y eficiencia de conversión de terneros consumiendo raciones a base de sorgo o maíz.....	44
9. Efecto del nivel de proteína en las dietas a base de sorgo grano sobre las digestibilidades de materia seca (DMS), materia orgánica (DMO), proteína cruda (DPC) y fibra detergente neutro (DFDN).....	48
10. Estimación del aporte de PM a partir de la energía metabolizable fermentable en rumen, síntesis de proteína microbiana verdadera y digestible y proteína digestible no degradable en rumen en los distintos tratamientos.....	53
11. Participación de la UDP_d en el total de la PM y consumo de PM por kilogramo de materia seca para cada tratamiento.....	54

12. Efecto del tipo de grano en dietas isoproteicas sobre la FEM, síntesis de PMo, UDP _d y consumo de PM por día en terneros destetados precozmente consumiendo dietas <i>ad libitum</i>	59
13. Efecto del tipo de grano en dietas isoproteicas sobre la FEM, síntesis de PMo, UDP _d y consumo de PM por kilogramo de materia seca en terneros destetados precozmente consumiendo dietas <i>ad libitum</i>	59

Figura No.

1. Esquema del sistema de proteína metabolizable.....	4
2. Tasa de desaparición (%/hora) del almidón a nivel ruminal según grano.....	28

Gráfico No.

1. Ganancia media diaria para terneros alimentados en confinamiento, consumiendo dietas altamente concentradas a base de sorgo o maíz según nivel de proteína cruda en la dieta...	17
2. Consumo de materia seca para terneros alimentados en confinamiento, consumiendo dietas altamente concentradas a base de sorgo o maíz según nivel de proteína cruda en la dieta ...	19
3. Eficiencia de conversión para terneros alimentados en confinamiento, consumiendo dietas altamente concentradas a base de sorgo o maíz según nivel de proteína cruda en la dieta ...	21
4. Relación entre la proteína del concentrado formulado y la de la RTM a base de sorgo.....	40
5. Efecto del nivel de proteína cruda en la dieta sobre la evolución del peso vivo de terneros consumiendo raciones a base de sorgo.....	41
6. Evolución de peso vivo para los tratamientos consumiendo raciones isoproteicas (19%) elaboradas a base de sorgo o maíz..	42

7.	Efecto del nivel de proteína cruda en la RTM a base de sorgo sobre el peso vivo a la salida del corral	43
8.	Efecto de la semana experimental sobre el consumo de materia seca (kg/a/d).....	45
9.	Efecto del nivel de proteína cruda ofrecida en la RTM a base de sorgo sobre la eficiencia de conversión (EC) y ganancia media diaria (GMD) en terneros de destete precoz.....	46
10.	Efecto del tipo de grano en dietas isoproteicas (19%PC) sobre A) CMS; kg/a/d B) GMD; kg/d y C) EC en terneros destetados precozmente.....	47
11.	Efecto del nivel de proteína cruda en RTM sobre la concentración de nitrógeno ureico en sangre en terneros consumiendo dietas a base de sorgo.....	48
12.	Concentración de nitrógeno ureico en sangre según tipo de grano para dietas isoproteicas (19%).....	49

1. INTRODUCCIÓN

El destete precoz en terneros, cuando estos tienen entre 60 y 90 días de edad, ha demostrado ser una práctica efectiva en mejorar el desempeño reproductivo de las vacas, incrementando el porcentaje de preñez del rodeo de cría. Sin embargo presenta el desafío que implica la alimentación del ternero destetado.

Se han propuesto diversos manejos nutricionales para los terneros destetados, que difieren en el manejo y duración de la etapa de adaptación a la dieta sólida, la relación forraje/concentrado, características de la base forrajera y tipo de concentrado. La suplementación con concentrado energético-proteico sobre campo natural o pasturas, asegura un consumo de energía y proteína que garantiza ganancias similares a la de terneros que permanecen al pie de la madre aplicándoles el destete convencional a los 6 meses de edad aproximadamente. Por otro lado, un sistema de alimentación a corral para esta categoría permite manejar una dieta más ajustada a las exigencias del animal y apuntar a mayores ganancias de peso vivo, generando terneros de 6 meses de edad más pesados con los beneficios que ello implica.

Por ser un animal que se encuentra en etapas iniciales de crecimiento, en fase de pre-rumiante, el músculo es el principal componente de la ganancia de peso vivo. Esto explica las mayores exigencias de proteína que tiene un ternero comparado con un animal adulto para aumentar un kilogramo de peso vivo. Desde ese punto de vista, el nivel de proteína cruda en la dieta de los terneros destetados precozmente y alimentados en confinamiento aparece como un factor fundamental. Para dicha categoría, existen antecedentes en dietas a base de maíz, mostrando que mayores niveles de proteína cruda mejoran la ganancia media diaria de peso vivo y la eficiencia de conversión del alimento, pero por otro lado empeoran la eficiencia de uso del nitrógeno y aumentan las excreciones del mismo.

El aporte de proteína metabolizable de la dieta está afectado por la síntesis de proteína microbiana, la cual será dependiente del aporte de energía fermentable y proteína degradable en rumen. Los granos de sorgo y maíz que son cuantitativamente importantes en las dietas de corral en el Uruguay presentan diferencias en cuanto a la calidad del almidón (fuente de energía), donde existe evidencia que el grano de maíz es superior al grano de sorgo. Esta diferencia podría llevar a que al sustituir el grano de maíz por grano de sorgo en dietas suministradas a terneros de destete precoz, se encuentren diferencias en la respuesta (principalmente medida a través de consumo de materia seca, ganancia media diaria, eficiencia de conversión del alimento y de uso del nitrógeno) al variar el nivel de proteína cruda en la dieta.

En base a lo visto, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la curva de respuesta para ganancia de peso vivo, eficiencia de conversión del alimento y del uso del N, frente a niveles crecientes de proteína cruda en dietas formuladas a base de grano de sorgo suministradas a terneros de destete precoz alimentados a corral y evaluar si el valor óptimo difiere del observado en dietas a base de maíz.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUCCIÓN

Al momento de realizar un destete precoz a corral hay dos aspectos claves a tener en cuenta que son el nivel de proteína cruda en la dieta (explicado por la alta demanda de dicho nutriente en esta categoría) y la fuente de energía a utilizar. Los antecedentes indican una superioridad en la performance de los terneros de razas carniceras y destetados precozmente a corral a medida que se incrementa el nivel de proteína cruda en la dieta. En cuanto a la ganancia media diaria de peso vivo se observan aumentos hasta un óptimo que se encuentra en 17% (Morteiro y Young, 2014) y 20% (Neville et al., 1977). El consumo de materia seca presentó un comportamiento cuadrático según Neville et al. (1977), Morteiro y Young (2014). La eficiencia de conversión a medida que se aumenta la concentración proteica de la dieta disminuye (mejora), coincidiendo los mejores valores de eficiencia de conversión con las máximas ganancias medias diarias (Neville et al. 1977, Pascoal et al. 2000, Morteiro y Young 2014). Por otro lado, el grano de maíz aparece como un grano de mejor calidad que el de sorgo. En dietas isoproteicas la sustitución de maíz por sorgo genera mejoras en la performance animal medida a través de la ganancia media diaria, consumo de materia seca y eficiencia de conversión (Monje 2002, Larraín et al. 2009).

La presente revisión tuvo como objetivo revisar antecedentes relacionados a la performance animal ante niveles crecientes de proteína cruda en la dieta, haciendo énfasis en terneros destetados precozmente y alimentados a corral. Por otro lado, se revisó información sobre la sustitución de sorgo grano por maíz grano para evaluar la performance animal, ya que el grano de maíz presenta mayor fermentabilidad ruminal (Theurer 1986, Herrera Saldana et al. 1990a, Gallardo 2007), incentivando una mayor síntesis de PMo (Mac Loughlin, 2007) y por lo tanto un mayor aporte de proteína metabolizable.

Tanto como para el incremento de proteína en dieta como para la sustitución del tipo de grano se recabó información acerca de la excreción de nitrógeno y la eficiencia de uso del mismo.

Antes de focalizarse en la búsqueda de antecedentes en el uso de distintos niveles proteicos, fuentes de almidón y su efecto en los distintos parámetros, es necesario comprender el metabolismo proteico y energético en los rumiantes.

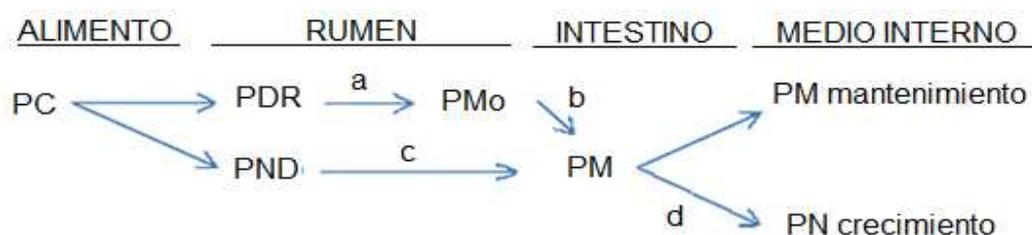
Siguiendo este orden lógico es que primero se caracterizó el metabolismo proteico y energético y la relación entre ambos. Luego se revisaron antecedentes tanto a nivel nacional como internacional de, por un

lado, la utilización de distintos niveles proteicos en dietas ofrecidas a terneros destetados precozmente y alimentados a corral, y por otro la utilización de maíz o sorgo como fuentes de energía sin limitar la búsqueda a ésta categoría en particular.

2.2 METABOLISMO PROTEICO

2.2.1 Proteína metabolizable

Para la determinación de los requerimientos proteicos, el subcomité que estudia la utilización del nitrógeno en los rumiantes del National Research Council (NRC), propone en el año 1985 utilizar el sistema de proteína metabolizable (PM), el cual tiene en cuenta la degradación ruminal de la proteína y separa los requerimientos entre necesidades de los microorganismos ruminales y del animal (NRC, 2000). La PM es definida como la proteína verdadera absorbida en el intestino formada por la proteína microbiana (PMo) y la proteína no degradable en rumen (PND) (figura 1, NRC, 2000).



PC= Proteína cruda, PDR= Proteína degradable en rumen, PND= Proteína no degradable en rumen, PMo= Proteína microbiana, PM= Proteína metabolizable, PM mantenimiento= Proteína metabolizable destinada a mantenimiento, PN crecimiento= Proteína neta destinada a crecimiento, a= 13% del NDT, b= 0,64 (80% proteína verdadera y 80% de digestibilidad de la proteína), c= 0,80 (80% digestibilidad de la proteína), d= Para animales de hasta 300 kg: 83,4 – (0,114 * PVE) y para animales de más de 300 kg: 0,492, PVE= Peso vivo equivalente.

Figura 1. Esquema del sistema de proteína metabolizable.

Fuente: NRC (2000).

La proteína cruda (PC) del alimento es la suma de PND y PDR (NRC, 2000).

En el rumen, la flora ruminal fermenta al grano obteniendo del mismo la energía y nutrientes para su proliferación (Huntington, 1997), y a partir de la fracción degradable de la proteína del alimento, las bacterias sintetizan sus propias proteínas (PMo). Las fuentes de nitrógeno utilizadas por los microorganismos para la síntesis de proteína proviene de la proteína de la dieta, nitrógeno no proteico (urea) y del nitrógeno reciclado hacia el rumen en forma de amoníaco para ser reutilizado (Van Lier y Regueiro, 2008).

La fermentación ruminal genera la energía necesaria para el crecimiento y engorde del rumiante (Owens et al., 1997). Es allí donde se fermenta la mayor parte de la fracción digestible del grano (60 al 85%) y la mayor proporción del almidón (más del 90%) si ha sido expuesto al licor ruminal (Owens et al. 1997, Huck et al. 1998, Philippeau et al. 1999, Cooper et al. 2002, Pordomingo 2013).

Una vez que la PDR llega al rumen es atacada por proteasas (exoenzimas) dando lugar a péptidos. Estos péptidos son atacados nuevamente por peptidasas generando aminoácidos que el microorganismo puede utilizar directamente para formar sus proteínas o desaminarlo formando nitrógeno (amoníaco) y esqueletos carbonados (ácidos grasos volátiles -AGV-) para así sintetizar los aminoácidos que ellos necesitan. Además, la urea que ingresa al rumen es transformada en amoníaco por las bacterias y el mismo puede ser utilizado en la síntesis de aminoácidos (Van Lier y Regueiro, 2008).

La PMo se considera un 80% proteína verdadera, y esta es digerida un 80%. Por lo tanto la PM proveniente de la PMo equivale a $PMo \times 0,64$ (Mac Loughlin, 2007). La proteína que aporta esa masa microbiana suele ser de mayor valor biológico que la proteína ingerida (Huntington, 1997). El valor biológico de las proteínas está dado por la composición en aminoácidos, cuanto más se parezca a la composición de la proteína de los mamíferos, mayor será el valor biológico (Van Lier y Regueiro, 2008).

Tanto la proteína microbiana como la fracción no degradable en rumen es digerida en parte en el abomaso gracias a la acción del ácido clorhídrico que actúa sobre la estructura cuaternaria de las proteínas permitiéndole la acción a las pepsinas que hidrolizan la cadena proteica (desdoblan enlaces peptídicos). Luego al intestino delgado llegan péptidos y proteínas parcialmente degradadas que son atacadas por enzimas pancreáticas e intestinales donde el producto final son aminoácidos y pequeños péptidos que serán absorbidos (García Sacristán et al., 1995).

Para la fracción no degradable de la PC del alimento se asume una digestibilidad del 80%. Entonces la PM proveniente de la PND equivale a $PND \times 0,80$. La PM originada de la PMo y la PND, una vez absorbida en el intestino, cumple las funciones de mantenimiento y crecimiento del animal (Mac Loughlin, 2007).

La PMo es capaz de aportar entre el 50 y 100% de los requerimientos de PM en el ganado para carne. La eficiencia con que se sintetiza la PMo en el rumen es un factor muy importante si se pretende cubrir los requerimientos proteicos en forma económica (NRC, 2000). Cuando la concentración de amonio en rumen no es limitante, la producción de PMo está estrechamente

relacionada con la energía disponible. Se utilizan los nutrientes digestibles totales (NDT) de la ración como indicador de la disponibilidad de energía para la síntesis de PMo (Mac Loughlin, 2007). Burroughs (1974) propuso una eficiencia del 13% del NDT ingeridos para la síntesis de PMo (13 g de PMo por cada 100 g de NDT). Sin embargo, si bien este valor es una buena generalización, no abarca todas las situaciones de alimentación. En raciones con muy alta o muy baja digestibilidad, por diferentes razones, la eficiencia de síntesis de PMo es menor. Las raciones de alta digestibilidad están compuestas mayoritariamente por concentrados energéticos, reduciendo el pH ruminal gracias a la alta producción de AGV y el turnover bacteriano, reduciendo la eficiencia de conversión de la proteína y la energía a PMo (NRC, 2000). Cuando el grano de maíz entero seco y/o el grano de sorgo quebrado son componentes cuantitativos importantes de la ración, la utilización de 13% de eficiencia sobreestima la energía disponible para los microorganismos ruminales, y por ende los requerimientos de PDR (Mac Loughlin, 2007). Por otra parte, la síntesis de PMo también se ve afectada al suministrar raciones con baja digestibilidad, debido a la baja tasa de pasaje ruminal, lo que conduce a un mayor gasto energético para el mantenimiento microbiano y a una menor eficiencia en la síntesis de PMo (NRC, 2000).

Por otro lado, NRC (1985) propone dos ecuaciones más complejas para estimar la síntesis de proteína bacteriana, una de ellas para dietas con más de 40% de forraje y otra para dietas con menos de este valor. Se requiere conocer el consumo de forraje y concentrado en porcentaje de peso vivo. Para dietas con menos de 40% de forraje la ecuación es la siguiente:

$$\text{PMo (g/día)} = 6,25 \times (\text{kg NDT consumidos/día}) \times (8,63 + 14,6 \times \text{kg forraje consumido} - 5,18 \times \text{kg forraje consumido}^2 + 0,59 \times \text{kg concentrado consumido})$$

Para dietas con más de 40% de forraje propone la siguiente ecuación:

$$\text{PMo (g/día)} = 6,25 \times (-31,86 + 26,12 \times \text{kg NDT consumidos/día})$$

El valor promedio de producción de proteína microbiana, para dietas con más de 40% de forraje, para un conjunto de datos realizado por NRC (1985) es de 12,8% de los NDT consumidos.

Por lo tanto para simplificar las ecuaciones presentadas por NRC (1985), 13% del NDT es utilizado para dietas con más de 40% de forraje y para dietas con menos de este valor se utiliza el modelo propuesto por Russell et al. (1992) donde plantean que la producción de proteína microbiana desciende 2,2% por cada 1% debajo de 20% de fibra detergente neutro efectiva (FDNe) (NRC, 2000).

AFRC (1993) establece la siguiente ecuación para el cálculo de proteína microbiana verdadera y digestible (MTP_d):

$$MTP_d \text{ (g/kg MS)} = MCP \text{ (g/kg MS)} \times 0,75 \times 0,85$$

Donde MCP (proteína microbiana) corresponde al menor de los valores de síntesis de proteína microbiana calculados a partir de la energía metabolizable fermentable en el rumen (FEM) consumida o de la proteína consumida efectivamente degradable en el rumen (ERDP). Además, asume que la proteína verdadera es del 75% y que tiene una digestibilidad del 85%.

Síntesis de MCP a partir de FEM:

$$MCP \text{ (g/kg)} = y \text{ (g/MJ)} \times FEM \text{ (MJ/kg)}$$

$$y \text{ (rendimiento microbiano, g/MJ)} = 7,0 + 6,0 \times (1 - e^{(-0,35 \times L)})$$

$L = EM_i/EM_m$, donde EM_i = energía metabolizable ingerida y EM_m = energía metabolizable requerida para mantenimiento.

Síntesis de MCP a partir de ERDP:

$$ERDP \text{ (g/kg)} = QDP \text{ (g/kg)} \times 0,8 + SDP \text{ (g/kg)}$$

Donde QDP (proteína rápidamente degradable en rumen, g/kg) = $a \times PC$ (g/kg)

a = Fracción proteica soluble del alimento

SDP (proteína lentamente degradable en rumen, g/kg) = $[(b \times c)/(c + r)] \times PC$ (g/kg)

b = Fracción proteica potencialmente degradable en rumen

c = Tasa de degradación para la fracción b (%/hora)

$$r \text{ (tasa de pasaje)} = -0,024 + 0,179 \times (1 - e^{(-0,278 \times L)})$$

Por otro lado el aporte de proteína no degradable en rumen digestible (UDP_d) es estimado por AFRC (1993) como:

$$UDP_d \text{ (g/kg)} = 0,9 \times [UDP \text{ (g/kg)} - 6,25 \times ADIN \text{ (g/kg)}]$$

Donde UDP (g/kg) = PC (g/kg) - [QDP (g/kg) + SDP (g/kg)]

$ADIN$ = Nitrógeno insoluble en detergente ácido

Finalmente el aporte de proteína metabolizable de la dieta (PM_i) según AFRC (1993) es:

$$PM_i \text{ (g/kg MS)} = MTP_d \text{ (g/kg)} + UDP_d \text{ (g/kg)}$$

Además, existen otros factores que pueden afectar la eficiencia en la síntesis de PMo como algunos aminoácidos y péptidos preformados que promueven una mayor síntesis de PMo, el tipo de carbohidrato (estructural o no estructural) en la ración que modifica las tasas de fermentación, pasaje y el pH ruminal. El nivel de consumo de materia seca también es importante, ya que altera el pH y la tasa de pasaje (NRC, 2000).

2.2.2 Importancia relativa de la proteína degradable en el rumen y proteína no degradable en el rumen de la dieta

Los distintos suplementos proteicos disponibles difieren tanto en el aporte de proteína (expresado como porcentaje de la materia seca) como en el aporte de PND (expresado como porcentaje de la proteína cruda) y en el perfil de aminoácidos de la fracción de PND (NRC, 1996).

En dietas de engorde a corral para animales adultos, si fueron formuladas para cubrir los requerimientos de PM, la calidad de la PMo que llega al intestino, es suficiente para utilizar la energía metabolizable que tales dietas ofrecen. Al incorporar proteínas de baja degradabilidad ruminal la mejora de eficiencia es inexistente o escasa (Pordomingo et al., 2003).

En dietas con predominancia de PDR, el balance de proteína metabolizable puede ser neutro e incluso positivo, por lo que el efecto de adicionar PND es bajo o nulo (Beever 1993, Fluharty y Loerch 1995).

Un experimento realizado por Cooper et al. (2002) utilizando novillos de biotipo grande, consumiendo dietas con 82% de grano húmedo de maíz como base y ofreciendo niveles crecientes de urea (desde 0% hasta 1,2% de la dieta), obtuvieron diferencias significativas en la ganancia de peso vivo, registrando 1,85 kg/día con 1,2% de urea versus 1,7 kg/día de ganancia en animales a los que no se suministró dicho componente.

Pordomingo et al. (2003) compararon la performance de terneros de 200 kg en dietas a base de grano entero de maíz (73%) y harina de girasol (15%) contra una dieta donde se sustituye en parte la harina de girasol por harina de pescado (2,5%) y harina de plumas (3%), para aportar proteínas de baja degradabilidad ruminal. Como conclusión reportaron que adicionar fuentes de proteína de baja degradabilidad a nivel ruminal no se tradujo en mayores ganancias de peso vivo.

De manera similar, Koenig y Beauchemin (2013) trabajando con animales en terminación que pesaron durante el experimento 564 kg en promedio no encontraron respuesta en aumento de peso, consumo o eficiencia

de conversión de alimento en dietas con inclusión de proteína de distinta degradabilidad y nitrógeno no proteico (NNP), comparadas con una dieta basada en 85% de cebada, con 13,5% de proteína cruda y sin adición de fuentes adicionales de proteína.

La síntesis de proteína microbiana a partir de fuentes de NNP es un elemento muy importante de la alimentación a corral de bajo costo (Pordomingo, 2013).

Algunas características de la urea hacen que sea una fuente de PDR de suma importancia para los microorganismos ruminales, pero no así como proveedora de PND. Las características interesantes de la urea son que contiene 46% de nitrógeno, lo que equivale a 287% de PC, de la cual el 100% es PDR (Mac Loughlin, 2007).

La inclusión de urea en dietas de rumiantes requiere de alta capacidad fermentativa en rumen y una actividad ruminal desarrollada, de lo contrario se convierte en un compuesto tóxico que puede generar amoniosis (intoxicación por circulación de amoníaco en sangre) (Pordomingo, 2013). Fluharty et al. (2000) demostraron que terneros de 3 meses al destete toleran un contenido de urea de hasta 0,4% (en base seca) en dietas de alta energía.

Por otro lado, Simeone et al. (2011) afirman que en categorías con alta demanda proteica y bajo consumo diario de materia seca como lo son los terneros destetados precozmente, el aporte de proteína metabolizable a partir de la proteína microbiana puede resultar insuficiente para satisfacer las exigencias diarias de PM. Por lo tanto, aportando fuentes proteicas que brinden una mayor cantidad de PND mejoraría la ganancia diaria.

Las fuentes de proteína verdadera más comúnmente usadas en la formulación de raciones para terneros de destete precoz comprenden a la harina de soja o expeler de girasol cuyo nivel de PND varía entre 20% y 35% (NRC, 1996). Para terneros destetados precozmente, la sustitución de este tipo de suplemento frecuentemente utilizado por otras fuentes proteicas de menor degradabilidad ruminal podría mejorar la performance (Simeone et al., 2011).

Cuando terneros de destete precoz son suplementados sobre pasturas o campo natural, utilizando un concentrado que presenta entre 18% y 21% de proteína (variando según las características de la pastura), es aconsejable que la ración tenga un componente PND entre 50% y 60%, explicado por las altas exigencias proteicas de los terneros y la baja calidad de las pasturas durante el verano (Simeone y Beretta, 2002).

Un mayor aporte de PND permite también ajustar de mejor manera los requerimientos de algunos aminoácidos indispensables, determinando mayores ganancias de peso y/o mejorando la eficiencia de conversión. Este manejo se viabilizaría cuando se tienen condiciones de alimentación más controladas como puede ser un encierro (Simeone et al., 2011).

Un experimento llevado a cabo por Simeone et al. (2011) utilizando terneros destetados precozmente y alimentados a corral, donde se comparaban 3 dietas isoenergéticas e isoproteicas, que variaban en la fuente de proteína utilizada (urea, harina de soja y harina de pescado) representando niveles crecientes de proteína no degradable a nivel ruminal, dio como resultado que la fuente de proteína utilizada afectó significativamente a la ganancia diaria de peso vivo de los terneros. Se observó una menor ganancia en terneros que recibían nitrógeno no proteico como fuente de proteína (0,859 kg/día) con relación a aquellos que recibían harina de soja (0,990 kg/día) o harina de pescado (0,995 kg/día). Estos autores concluyen que existe un nivel de respuesta a la utilización de fuentes de proteína que aseguran un nivel de proteína no degradable de por lo menos 40% de la dieta. La respuesta positiva en ganancia de peso vivo al aumentar el contenido de PND estaría probablemente asociada a un aumento en la absorción intestinal de PM ya que la PND compensaría una menor síntesis de proteína microbiana en una categoría con un rumen en desarrollo. De todas formas, cabe destacar la buena performance obtenida cuando la fuente de proteína fue urea, lo que ameritaría analizar la inclusión de esta fuente de proteína desde el punto de vista bioeconómico (Simeone et al., 2011).

A su vez la eficiencia de conversión fue de 3,67, 3,18 y 3,09 para los tratamientos que tenían como fuente de proteína a la urea, harina de soja y harina de pescado, respectivamente. Como posible explicación podría argumentarse que el mayor aporte de PND, estaría permitiendo una mejora en la eficiencia de conversión a través del aporte de aminoácidos esenciales cuya disponibilidad podría mejorar la ganancia de peso vivo (Simeone et al., 2011).

Estudios realizados por Zinn y Shen (1998) muestran que en dietas isonitrogenadas, el suministro de niveles crecientes de harina de pescado con un nivel de PND > 80% (NRC, 1996) a novillos cruza de frame medio de 231 kg, alimentados en confinamiento, aumentó la absorción de aminoácidos a nivel duodenal y modificó el perfil de aminoácidos en plasma con relación al uso de urea como fuente de nitrógeno, mejorando la eficiencia energética y el aporte de energía neta del alimento.

2.3 REQUERIMIENTOS DE PROTEÍNA METABOLIZABLE

El requerimiento de proteína cruda y metabolizable (expresado en kg de proteína/kg de peso vivo ganado) decrece con el incremento de la edad, del peso y de la tasa de ganancia del animal (Pordomingo, 2013).

Los requerimientos de proteína para la síntesis de tejido magro en ganado de carne son máximos en etapas tempranas de desarrollo disminuyendo a medida que el animal se aproxima a su masa corporal magra objetivo (Simeone et al., 2011).

Si bien los requerimientos de proteína metabolizable por cada kilogramo de peso vivo ganado, disminuyen a medida que aumenta el peso vivo del animal debido a una menor participación del músculo en ese kg ganado de peso vivo, los requerimientos en términos absolutos (g/día) aumentan ya que se incrementa la proteína metabolizable necesaria para el mantenimiento. Además, cuanto mayor sea la ganancia diaria del animal, los requerimientos de proteína cruda (en g/día) tienden a incrementar (NRC, 2000).

Sin embargo, no depende solamente de estos tres factores, importa también la metabolibilidad de la proteína. Si la calidad de la proteína es baja y una fracción alta de la misma (superior al 35%) proviene de una fuente nitrogenada no proteica, los requerimientos de proteína cruda se incrementan para alcanzar los mínimos de metabolizable (Pordomingo, 2013). La eficiencia de síntesis de PM es mayor a partir de PND (80%) que a través de PDR (64%) (NRC, 2000).

El sexo y genotipo también inciden en las necesidades proteicas por cada kilogramo de peso vivo que aumenta el animal. En cuanto al primero, las hembras tienden a ingresar en fase de engrasamiento a pesos más bajos que los machos castrados, y estos últimos a pesos más bajos que los toros (Berg y Butterfield, 1979). Las razas también difieren en cuanto a la iniciación del engrasamiento, siendo antes en razas británicas y con un mayor peso en razas indicas y continentales (Di Marco, 1994). El principal destino de la grasa es el tejido adiposo y de la proteína el músculo (Mac Loughlin y Garriz, 2009) por lo tanto cuando un animal comienza la fase de engrasamiento aumentan considerablemente los requerimientos energéticos y disminuyen los proteicos en comparación con un animal en crecimiento que está depositando principalmente músculo.

El INRA (1988), determinó que los requerimientos de PM para mantenimiento eran 3,25 g PM/kg PV^{0,75}. Por su parte Wilkerson et al. (1993) estimaron los requerimientos de PM para mantenimiento en 3,8 g PM/kg PV^{0,75}. Las pérdidas por metabolismo fecal, urinario y descamaciones del tracto

gastrointestinal representan los requerimientos para mantenimiento (NRC, 2000).

Por su parte AFRC (1993) establece que los requerimientos de PM para mantenimiento en ganado de carne son de $2,30 \text{ g PM/ PV}^{0,75}$.

Para predecir la proteína metabolizable necesaria para ganancia de peso vivo, ARC (1980) establece la siguiente ecuación:

$$\text{PM crecimiento (g)} = C6 (168,07 - 0,16869 \text{ PV} + 0,0001633 \text{ PV}^2) \times (1,12 - 0,1223 \Delta\text{PV}) \times (1,695 \Delta\text{PV})$$

Donde el factor de corrección C6 depende del sexo y biotipo o madurez del animal, siendo mayor para toros seguido de novillos y por último vaquillonas; a mayor madurez del animal mayor es el valor del factor de corrección. Además ΔPV es la ganancia de peso vivo del animal expresada en kg/día (ARC, 1980).

La eficiencia de conversión de PM a PN varía según el peso corporal y la tasas de ganancia (NRC, 2000). Estudios realizados por INRA (1988) afirman que la eficiencia de conversión decrece a medida que el peso corporal es mayor. Según Ainslie et al. (1993), Wilkerson et al. (1993) la eficiencia de conversión para animales que pesen menos de 300 kg se puede calcular como $83,4 - (0,114 * \text{PV})$. Esta ecuación predice una eficiencia de conversión de PM a PN de 66,3% para un ternero de 150 kg, y de 49,2% para un animal de 300 kg. Esta ecuación solamente cubre animales desde 150 a 300 kg. Para animales que pesen más de 300 kg se utiliza una eficiencia de conversión de 49,2% (NRC, 2000).

Según AFRC (1993) la eficiencia de utilización de la proteína metabolizable para mantenimiento es igual a 1 y para crecimiento equivale a 0,59.

Al momento de formular raciones para bovinos de carne se deben balancear los requerimientos de proteína metabolizable y proteína degradable en rumen. La PM es utilizada por el animal para mantenerse y crecer. Cuando de PDR se trata, hacemos referencia primero a los requerimientos de proteína de los microorganismos ruminales y luego, mediante la producción de proteína microbiana, a los del animal. Las necesidades de PND se tornan importantes cuando la producción de PMo es insuficiente para cubrir los requerimientos de PM del bovino. El déficit de PDR, aún cuando los requerimientos de PM estén cubiertos, perjudica la productividad del animal, ya que la capacidad de fermentación ruminal de los carbohidratos, la síntesis de vitaminas y la disponibilidad de minerales disminuye (Mac Loughlin, 2007). Karges (1990)

encontró que la proteína degradable en el rumen debe ser de un 10,9% del NDT para maximizar las ganancias en ganado de carne, ya que de esta forma se maximiza la síntesis de PMo. Hollingsworth-Jenkins (1994) afirma que solamente el 7,1% de PDR es necesario para maximizar las ganancias (NRC, 2000).

2.4 EFECTO DEL NIVEL DE PROTEÍNA CRUDA EN LA DIETA SOBRE LA PERFORMANCE DE LOS TERNEROS

Es muy importante un nivel de proteína adecuado para no limitar el desarrollo de los terneros luego del destete (Depetris, 2005). De cualquier manera cuando se habla acerca del nivel de proteína de una dieta (en %) hay que tener en cuenta que la misma debe estar referida a determinado nivel de consumo de alimento (en kg) ya que el animal va a consumir gramos de proteína. A un mismo nivel de proteína en dieta, un animal que come el doble de alimento, va a consumir el doble de gramos de proteína (La Manna et al., 2011). A modo de ejemplo, estos autores plantean una situación en la que comparan animales de 200 kg consumiendo al 1% del peso vivo (2 kg de alimento) una dieta con 14% de proteína cruda, es decir, consumen 280 g por día en total de proteína lo cual es apenas suficiente para cubrir sus requerimientos; pero esos mismos animales consumiendo al 3% del PV están ingiriendo 840 g diarios de proteína, suficientes para aumentar más de 0,5 kg de peso vivo por día.

Ese alto nivel de proteína es efectivo para promover no solo un rápido desarrollo del animal, sino también un rápido aumento de peso en comparación con animales que consumen dietas con bajos niveles de PC (Tierl et al., 2011a).

A continuación se presenta información recopilada de distintos experimentos y en distintos años, en los cuales el objetivo en común era evaluar cómo afecta el nivel de proteína de la dieta la performance de los animales (preferentemente en su primer año de vida) en crecimiento, medida a través de tres parámetros fundamentales: ganancia media diaria de peso vivo (GMD, kg/día), consumo diario de materia seca (CMS, kg/a/d) y eficiencia de conversión del alimento (EC, kilogramos de materia seca consumidos/kilogramo de peso vivo ganado). Todos los experimentos que aquí se exponen fueron realizados con animales de menos de 200 kg de PV (excepto el de Fluharty y Loerch, 1995), alimentados en confinamiento y consumiendo raciones altamente concentradas.

Neville et al. (1977) realizaron un experimento para evaluar el efecto del nivel de PC en el crecimiento de 48 terneros Angus y Polled Hereford, de 76 kg de peso vivo y 48 días de vida al inicio del encierre, ambos en promedio. Los niveles utilizados fueron de 14,5%, 18,9%, 23,7% y 28,5%; adicionalmente un

14% de la dieta era fibra (expresada en base seca al igual que la proteína) y el alimento era ofrecido *ad libitum*. Los mejores resultados en cuanto a GMD y EC fueron obtenidos con los niveles intermedios de proteína de 18,9% y 23,7%. Por otra parte encontraron una respuesta cuadrática en el CMS frente a aumentos en la concentración proteica.

Veira et al. (1980), utilizaron 12 terneros Holstein y les asignaron una de cuatro dietas con 9,9%, 12%, 14,2% y 16,2% de PC. Como resultado, para CMS obtuvieron una respuesta a la PC que se adecuaba tanto a un modelo lineal como a uno cúbico, mientras que para EC y GMD las respuestas obtenidas fueron lineales (negativa y positiva respectivamente).

Parte de un complejo experimento dirigido por Fluharty y Loerch (1995) fue realizado con la intención de evaluar distintos niveles de proteína pero sobre animales más grandes que en el caso anterior (246 kg de PV en promedio). Utilizaron 240 novillos Simmental x Angus para cuantificar la respuesta a niveles crecientes de 11%, 14%, 17%, 20%, 23% y 26% de PC en dietas ofrecidas *ad libitum*. Como resultado obtuvieron una respuesta a la PC del tipo cuadrático para peso final, ganancia diaria de peso y eficiencia de conversión. Al igual que Neville et al. (1977), estos autores encontraron los mejores resultados utilizando 20% de PC tanto para GMD como para EC. Por otra parte, no encontraron diferencias significativas al comparar el CMS entre los tratamientos.

Valadares et al. (1997), evaluando el consumo en novillos cebú alimentados con niveles crecientes de PC en la dieta (7% a 14,5%), encontraron un menor CMS en aquellos que consumieron una dieta con 7% con respecto a los otros tratamientos (9,5%, 12% y 14,5% PC). Con una inclusión de PC entre 9,5% y 14,5% no encontraron diferencias para ese mismo parámetro.

Un experimento realizado por autores brasileiros (Pascoal et al., 2000) tuvo como fin evaluar distintos parámetros (dentro de ellos CMS, GMD y EC) en respuesta al nivel de PC en la dieta, sobre terneros Braford destetados a los 66 días de edad con un peso promedio de 76,4 kg. Los niveles manejados fueron de 13%, 15%, 17% y 19%, y en sus resultados reportan una coincidencia entre las mayores GMD y menor EC, con el mayor nivel de proteína. No encontraron diferencias significativas en cuanto al CMS.

Hill et al. (2008) montaron un experimento en el cual los niveles utilizados fueron de 13,5%, 15%, 16,5% y 18% de PC en dietas ofrecidas *ad libitum* a 96 terneros Holstein con un peso promedio al inicio de 81 kg y 8 semanas de edad. La respuesta que mejor se ajustó al nivel de PC, tanto para GMD, como para EC fue cuadrática, y agregan que para GMD la curva tiende a

estabilizarse (plateau) en 15% mientras que para EC tiende a hacerlo con niveles más cercanos al 16,5%.

El primer antecedente nacional encontrado (cronológicamente hablando) fue un trabajo realizado en INIA La Estanzuela por Tieri et al. (2011a, 2011b). El mismo consistió de un experimento con dos etapas (una a corral y otra a campo) en las cuales fueron utilizados 60 terneros cruza Hereford x Angus con un peso inicial de 180 kg en promedio, evaluando sus respuestas a dietas isoenergéticas pero con distintos niveles de PC; 13%, 15% y 17% ofrecidas al 3% del PV. De aquí en más, todos los análisis y consideraciones serán referidos únicamente a la etapa de corral, sin referirse nunca a la etapa a campo (pastoreo). Como consideraciones finales, al evaluar los resultados reportaron una mayor GMD, y una menor EC cuanto mayor fue el nivel de PC, observándose una respuesta lineal para ambos parámetros. Para peso vivo final encontraron una respuesta lineal positiva frente a aumentos en el nivel de proteína.

Al año siguiente del experimento realizado por Tieri et al. (2011a), el mismo fue replicado por La Manna et al. (2011), con la única diferencia de que esta vez fueron utilizados 60 terneros Hereford con un peso inicial promedio de 168 kg. Los resultados obtenidos coincidieron con los del experimento llevado a cabo el año anterior.

El antecedente más reciente fue publicado por Morteiro y Young (2014), en el cual se utilizaron 24 terneros Hereford con un peso promedio de 107 kg y 80 días de edad, que fueron asignados en forma individual a una de las 4 dietas con diferentes niveles de PC; 11,9%, 15,2%, 17,4% o 20,9% ofrecidas *ad libitum* para evaluar su respuesta. Los autores obtuvieron un óptimo biológico cercano al 17% de proteína con una respuesta cuadrática para GMD. También encontraron respuesta cuadrática para consumo de materia seca (kg/a/d) y peso vivo a la salida del corral.

El cuadro 1 resume la información recopilada de los diferentes experimentos anteriormente mencionados. La GMD, EC y CMS fueron los parámetros utilizados para comparar cada experimento, y adicionalmente, a modo de orientar se expresa el peso inicial de los animales, y el porcentaje de voluminoso en la dieta. El cuadro incluye además, los 3 o 4 principales componentes de la dieta dependiendo de la participación que tuvieran dentro de la misma. La harina de soja y el expeller de girasol son los componentes utilizados en todas las dietas para aportar (la mayor parte) y modificar el nivel de proteína.

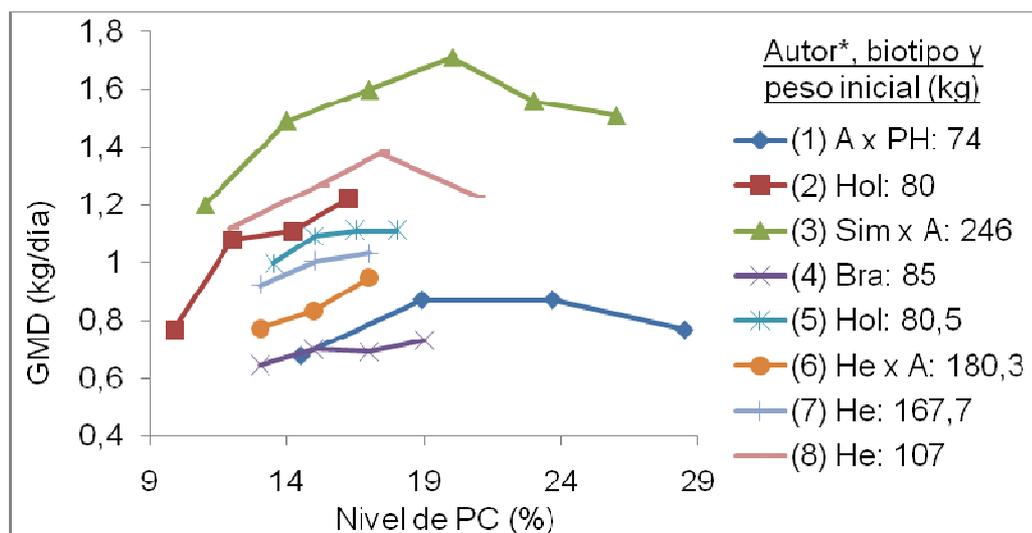
Cuadro 1. Síntesis de resultados de experimentos evaluando la performance de terneros en confinamiento consumiendo dietas altamente concentradas difiriendo en el contenido de proteína cruda.

Autores	Biotipo	PVi (kg)	% voluminoso	Componentes de la dieta	%PC	CMS (kg/a/d)	C1** (kg/día)	GMD (kg/día)	C2**	EC (kg alim./kg PV)	C3**
(1) Neville et al. (1977)	Angus y Polled Hereford (A y PH)	74	14	Grano de maíz, cascara de algodón, heno pelletizado de pasto bermuda y harina de soja.	14,5	2,93a		0,68b		4,31a	
		74	14		18,9	3,04a	C	0,87a	sd	3,49c	sd
		74	14		23,7	3,02a		0,87a		3,47c	
		74	14		28,5	2,77b		0,77b		3,60b	
(2) Veira et al. (1980)	Holstein (Hol)	80	7,5		9,9	3,72b		0,77b		7,62a	
		80	7,5	Grano de maíz, harina de soja, fardo de avena.	12	4,12a	L	1,08a	L	4,07b	L
		80	7,5		14,2	3,97ab		1,11a		3,89b	
		80	7,5		16,2	4,12a		1,22a		3,47b	
(3) Fluharty y Loerch (1995)	Simmental x Angus (Sim x A)	246	60		11	5,15		1,20		4,29	
		246	60		14	5,74		1,49		3,85	
		246	60	Ensilaje de maíz, grano de maíz, harina de soja.	17	5,65	se	1,60	C	3,53	C
		246	60		20	5,69		1,71		3,33	
		246	55		23	5,57		1,56		3,57	
		246	55		26	5,44		1,51		3,60	
(4) Pascoal et al. (2000)	Braford (Bra)	84,8	50		13	2,86		0,644		4,51	
		87,1	50	Grano de sorgo, harina de soja, sito de avena.	15	2,96	se	0,701	L	4,22	L
		82,3	50		17	2,85		0,693		4,11	
		85,5	50		19	2,91		0,730		3,98	
(5) Hill et al. (2008)	Holstein (Hol)	80,9	5		13,5	3,06		0,998		3,07a	
		78,9	5	Grano de maíz, avena, harina de avena, melaza y harina de soja.	15	3,06	se	1,093	C	2,80b	C
		79,1	5		16,5	3,03		1,113		2,72b	
		83,2	5		18	3,18		1,111		2,86ab	
(6) Tieri et al. (2011a)	Hereford x Angus (He x A)	178	52,2	Sorgo grano húmedo,	13	6,35		0,775		8,15	
		180	47,7	afrechillo de trigo, expeller de girasol y fardo de moha.	15	6,31	sd	0,834	L	7,63	L
		183	42,8		17	6,27		0,950		6,87	
(7) La Manna et al. (2011)	Hereford (He)	166	sd*	Sorgo grano húmedo,	13	sd	sd	0,923		sd	
		169	sd	afrechillo de trigo, expeller de girasol y fardo de moha.	15	sd	sd	1,004	L	sd	L
		168	sd		17	sd		1,032		sd	
(8) Monteiro y Young (2014)	Hereford (He)	102,8	10		11,9	5,15		1,12		4,60	
		105,3	10	Grano de maíz, cascara de arroz, heno de alfalfa y harina de soja.	15,2	5,54	C	1,27	C	4,36	C
		112,7	10		17,4	5,98		1,38		4,33	
		107,7	10		20,9	5,46		1,23		4,44	

*sd: sin datos. ** C1, C2, C3: contrastes para CMS, GMD Y EC (L=lineal, C=cuadrático, se=sin efecto).

2.4.1 Ganancia media diaria

Los parámetros (GMD, EC y CMS) expresados en el cuadro 1 fueron separados y graficados para poder apreciar independientemente el efecto que tiene el nivel de proteína cruda en la dieta sobre cada uno de ellos.



*(1) Neville et al. (1977), (2) Veira et al. (1980), (3) Fluharty y Loerch (1995), (4) Pascoal et al. (2000), (5) Hill et al. (2008), (6) Tieri et al. (2011a), (7) La Manna et al. (2011), (8) Morteiro y Young (2014).

Gráfico 1. Ganancia media diaria para terneros alimentados en confinamiento, consumiendo dietas altamente concentradas a base de sorgo o maíz según nivel de proteína cruda en la dieta.

Fuente: Neville et al. (1977), Veira et al. (1980), Fluharty y Loerch (1995), Pascoal et al. (2000), Hill et al. (2008), Tieri et al. (2011a), La Manna et al. (2011), Morteiro y Young (2014).

Al observar las ganancias diarias, se observa una tendencia a que los que obtuvieron mayores ganancias (3) fueron los animales de mayor peso inicial a pesar de la baja participación del concentrado en la dieta (40-45%) con respecto a los demás experimentos y lo contrario sucede con los animales de menor peso inicial (1 y 4), que tendieron a obtener las ganancias más bajas. Esto puede estar acentuado en (4) debido a que el concentrado constituyó únicamente el 50% de la dieta y fue elaborado a base de sorgo.

En cuanto a los biotipos, Veira et al. (1980), Hill et al. (2008) utilizaron razas lecheras, y los demás autores razas carniceras o cruza de estas, pero esto no parece incidir sobre las ganancias ya que los experimentos de estos

dos autores (2 y 5 respectivamente) reportan ganancias intermedias con respecto al resto, pudiendo estar contrarrestado el efecto de la raza por el hecho de que los animales de los tratamientos consumieron *ad libitum* raciones con alta cantidad de concentrados (92,5% y 95%, respectivamente).

Si se compara la fuente de energía de la dieta, se observa que los autores que utilizaron raciones a base de sorgo (4, 6 y 7) obtuvieron ganancias en promedio inferiores a aquellos que utilizaron maíz como componente principal de sus dietas. Adicionalmente, la alimentación de (6) y (7) no era *ad libitum* sino restringida a un 3% del PV, y la dieta del experimento (4) con una baja proporción de concentrado (50%).

En el gráfico 1 puede observarse claramente una tendencia a aumentar la ganancia de peso a medida que aumenta el nivel de PC en la dieta independientemente de si los animales eran alimentados *ad libitum* o no, de los componentes de la dieta, y de la relación de concentrado/voluminoso. Éste aumento (en el caso de los autores que evaluaron niveles elevados de PC) se da hasta un óptimo que se encuentra entre 17% y 23% aproximadamente. Yendo a lo particular Neville et al. (1977), Fluharty y Loerch (1995) lo ubican en torno a 20%, mientras que Morteiro y Young (2014) obtuvieron una respuesta que se ajustó a un modelo cuadrático con un máximo estimado cercano al 17%. En estos trabajos, niveles de PC superiores al óptimo determinan un descenso en la GMD. Según Fluharty y Loerch (1995), quienes reportan no haber encontrado diferencias en el CMS expresado como kg/día al variar el contenido de PC en la dieta, ese descenso en la ganancia probablemente esté explicado por un aumento en el requerimiento de energía adicional que se necesita para excretar el exceso de N del cuerpo del animal.

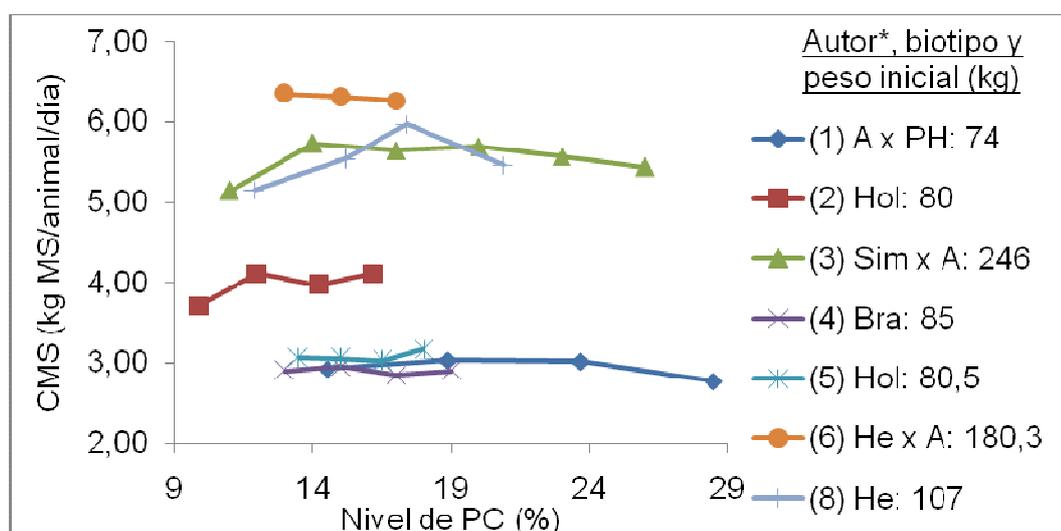
Fluharty y Loerch (1995) son los que obtuvieron mayores valores de GMD pero se debe tomar en cuenta que la evaluación fue realizada con animales de 246 kg (los de mayor peso respecto a los demás trabajos), pero de cualquier manera se mantiene la tendencia general de que la misma baja después de un óptimo que estos autores en particular sitúan entre 19% y 22% de PC aproximadamente.

Si se comparan los experimentos (1) y (4) que fueron realizados con terneros de raza carnicera destetados precozmente y alimentados a corral, existe un comportamiento similar en la ganancia de peso para ambos, aunque para (1) los aumentos de ganancia ante incrementos del nivel de proteína fueron mayores, debido probablemente a una mayor participación del concentrado en la dieta de 90% para (1) y de tan solo 50% para (4). Para (4) no existe información de cómo sería el comportamiento de los terneros ante niveles elevados de PC (mayor a 19%) ya que según (1), y como ya fue mencionado anteriormente las ganancias de peso caen.

Otro trabajo similar es el de (8), aunque con terneros con un mayor peso inicial, donde si bien la forma de la curva es similar a la de (1) y (4), las tasas de ganancia diarias son mayores. La mayor GMD de (8) podría estar explicada por la utilización de animales más pesados que en (4) y a que éstos últimos consumieron dietas a base de sorgo y menos concentrada, en comparación a la dieta a base de maíz y más concentrada de (8), mientras que la diferencia entre (1) y (8) radica en el mayor peso inicial de estos últimos ya que el resto de las características de los experimentos son muy similares.

Los experimentos (1) y (8) reúnen las condiciones de ser terneros de raza británica, destetados precozmente y con alimentación *ad libitum* a corral al igual de lo que se presentará en el presente trabajo. El ensayo (4) es muy similar ya que utilizó grano de sorgo, pero con la salvedad de que la dieta es menos concentrada y que se utilizó una raza sintética que está constituida por 5/8 Hereford y 3/8 Brahman, Nelore o Tabapúa (Sociedad de Criadores Braford y Cebú del Uruguay, 2016).

2.4.2 Consumo de materia seca



*(1) Neville et al. (1977), (2) Veira et al. (1980), (3) Fluharty y Loerch (1995), (4) Pascoal et al. (2000), (5) Hill et al. (2008), (6) Tieri et al. (2011a), (8) Morteiro y Young (2014).

Gráfico 2. Consumo de materia seca para terneros alimentados en confinamiento, consumiendo dietas altamente concentradas a base de sorgo o maíz según nivel de proteína cruda en la dieta.

Fuente: Neville et al. (1977), Veira et al. (1980), Fluharty y Loerch (1995), Pascoal et al. (2000), Hill et al. (2008), Tieri et al. (2011a), Morteiro y Young (2014).

Algunos autores (Fluharty y Loerch 1995, Pascoal et al. 2000) no encontraron diferencias significativas entre los consumos a diferentes niveles de PC. El resto de los autores si lo hicieron, o en su defecto no reportaron ningún dato.

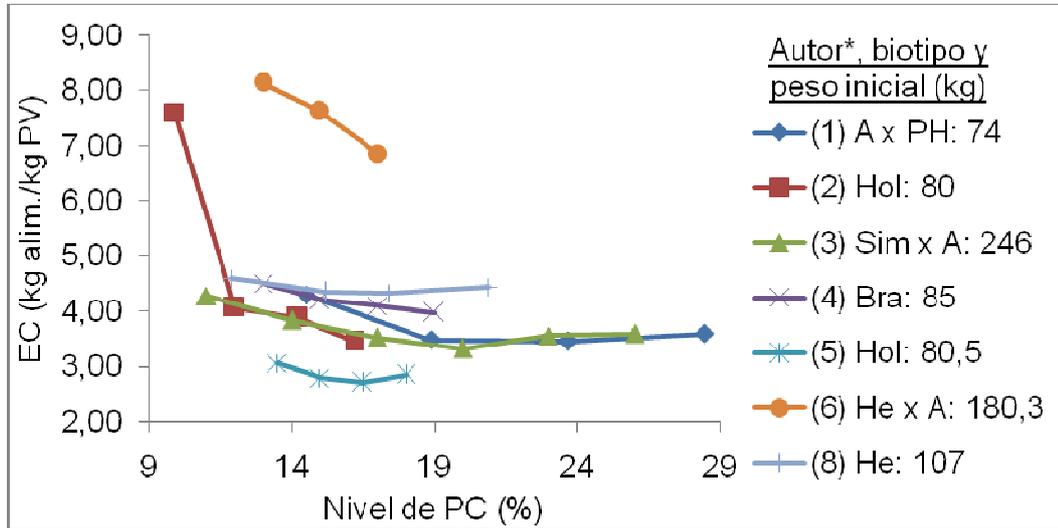
En el gráfico 2 puede identificarse que los valores obtenidos por ciertos autores se encuentran en niveles más altos de CMS (Fluharty y Loerch 1995, Tieri et al. 2011a, Morteiro y Young 2014) y esto probablemente se deba a que los animales utilizados (según su peso vivo inicial) son mayores a los del otro grupo con consumos diarios inferiores (Neville et al. 1977, Pascoal et al. 2000, Hill et al. 2008). Esto es lógico si nos apoyamos en la información reportada por Valadares et al. (1997), Pascoal et al. (2000) que sostienen que el CMS se incrementa a medida que aumenta el peso vivo del animal. Por lo tanto a medida que transcurren los días del momento del destete, los terneros también incrementan su capacidad ingestiva (Pascoal et al., 2000).

La estrategia de alimentación no parece tener efecto sobre el consumo ya que los animales con una alimentación restringida al 3% PV (6) no tuvieron bajos registros. Al comparar la relación de concentrado/voluminoso tampoco parecería haber incidencia de la misma en el CMS, salvo para el caso de Pascoal et al. (2000) quienes tienen consumos relativamente bajos pero con animales consumiendo 50% de voluminoso y concentrado elaborado a base de sorgo.

En su trabajo, Pascoal et al. (2000) no encontraron un efecto significativo en cuanto a la variación de concentración de proteína cruda en las distintas formas de expresar el consumo de materia seca: consumo medio diario de materia seca, consumo medio diario cada 100 kg de peso vivo y consumo medio diario según peso metabólico. Dicha conclusión se refleja cuando se compara el CMS del tratamiento con menor nivel de PC (2,86 kg/a/d) frente al CMS del tratamiento con mayor inclusión de PC (2,9 kg/a/d).

Otra línea de pensamiento fue propuesta por Owens y Goetsch (1993) en cuanto a la respuesta, ya que afirman que el contenido de proteína cruda en la dieta puede afectar el CMS. Niveles bajos de nitrógeno en rumen pueden limitar el consumo ya que el crecimiento de los microorganismos puede verse afectado, y por lo tanto la tasa de desaparición del alimento será más baja. Veira et al. (1980), Fluharty y Loerch (1995) siendo los que utilizaron los valores más bajos de % de PC a la hora de experimentar, reflejan esa teoría al obtener valores estadísticamente menores de CMS en esas situaciones.

2.4.3 Eficiencia de conversión



*(1) Neville et al. (1977), (2) Veira et al. (1980), (3) Fluharty y Loerch (1995), (4) Pascoal et al. (2000), (5) Hill et al. (2008), (6) Tieri et al. (2011a), (8) Morteiro y Young (2014).

Gráfico 3. Eficiencia de conversión para terneros alimentados en confinamiento, consumiendo dietas altamente concentradas a base de sorgo o maíz según nivel de proteína cruda en la dieta.

Fuente: Neville et al. (1977), Veira et al. (1980), Fluharty y Loerch (1995), Pascoal et al. (2000), Hill et al. (2008), Tieri et al. (2011a), Morteiro y Young (2014).

Al igual que para GMD, en el gráfico 3 se observa una tendencia que se puede apreciar en todos los experimentos en cuanto a la respuesta de EC frente a un aumento del nivel de PC ya que a medida que este aumenta, desciende (mejora) el índice de EC.

Siguiendo la línea de pensamiento de La Manna et al. (2011), la respuesta es lógica ya que esto se debe a que cuanto menor es el nivel de proteína, mayor será la cantidad de alimento requerida para llegar a los gramos de esa proteína necesarios para aumentar 1 kg.

Tanto Veira et al. (1980), como Pascoal et al. (2000) afirman que la tendencia de mejor conversión del alimento para las dietas con mayor tenor proteico puede ser explicada por una mayor digestibilidad de la dieta y en menor medida por la consecuente mayor ganancia diaria.

La ganancia de peso está condicionada por el balance proteico (entre degradación y síntesis) que se da constantemente durante la vida del animal. La ganancia de peso tiene lugar cuando la tasa de síntesis es mayor a la de degradación y por lo tanto el balance se hace positivo. A niveles bajos de proteína, el balance es negativo (pérdida de peso), neutro (mantenimiento sin variación en el peso vivo) o ligeramente positivo por lo que le lleva más tiempo y más alimento en total aumentar 1 kg, aumentando el índice de eficiencia de conversión, convirtiéndose en menos eficiente. Qué tan eficiente es el animal en la conversión de alimento a peso vivo, dependerá de que proporción del alimento se destine al mantenimiento, y cuál al incremento de peso; cuanto mayor sea esta última mejor (menor índice) será la eficiencia (Di Marco, 1994).

2.5 EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO

Mayores niveles de proteína cruda en la dieta implican una mayor digestibilidad aparente de la misma, mejor eficiencia de conversión (Pascoal et al., 2000), y un balance de nitrógeno más positivo (Veira et al., 1980).

Veira et al. (1980) en un experimento que ya fue descrito (cuadro 1) encontraron que la digestibilidad de la materia seca, nitrógeno y fibra detergente ácido (FDA) aumentó linealmente ante incrementos en el nivel de PC al igual que lo hizo el balance de nitrógeno [(balance = consumo – (excretado en heces + excretado en orina)]. No encontraron diferencias en la retención de nitrógeno expresado como porcentaje de nitrógeno consumido, pero si cuando se expresó como % del nitrógeno digestible, donde disminuye el nitrógeno retenido a medida que se incrementa el nivel de PC en la dieta. Estos autores afirman que las mayores pérdidas de nitrógeno y por lo tanto las menores eficiencias de uso del mismo ocurren cuando el nivel de proteína en la dieta supera el 12% de PC. Para un uso eficiente de la proteína la dieta debe proporcionar una adecuada cantidad de nitrógeno para el correcto crecimiento de los microorganismos del rumen y si más proteína es requerida por el ternero la misma debe ser no degradable a nivel ruminal.

El experimento de Tieri et al. (2011b, cuadro 1), evaluando tres niveles de proteína y la sustitución de proteína verdadera por urea, hallaron que la digestibilidad de la materia seca, FDA y FDN, a diferencia de lo encontrado por Veira et al. (1980), no presentó diferencias significativas a medida que aumentó el nivel de PC en la dieta, aunque los diferentes comportamientos puedan deberse a que el rango utilizado por Tieri et al. (2011b) fue más acotado que el de Veira et al. (1980), quienes a su vez también evaluaron valores inferiores (9,9% a 16,2% contra 13% a 17%). Por otro lado, la digestibilidad del nitrógeno aumentó linealmente en el rango de 13% a 17% de PC. No se hallaron diferencias en la excreción de nitrógeno en heces, sin embargo, la excreción total de nitrógeno tuvo una respuesta cuadrática positiva a medida que

aumentaron niveles de PC en la dieta. El balance de nitrógeno se incrementó de forma lineal frente a aumentos de PC en la dieta, al igual que lo observado por Veira et al. (1980). Al ser comparados los tratamientos con urea con el tratamiento isonitrogenado pero con el 100% de proteína verdadera, los primeros mostraron una menor digestibilidad y retención de nitrógeno.

El amoníaco presente en el rumen es resultado de la degradación de la urea, fermentación de aminoácidos de la dieta o del reciclaje desde el hígado (Van Lier y Regueiro, 2008). Por lo tanto es importante conocer las concentraciones de amoníaco óptimas para maximizar las tasas de crecimiento microbiano. Concentraciones por encima de los requerimientos de la masa microbiana del rumen resultan en pérdidas de nitrógeno, e incremento de los costos energéticos para excretar ese exceso de nitrógeno. Concentraciones por encima de 5 mg de amoníaco cada 100 ml de fluido ruminal no mejoran la producción de proteína microbiana. Cuando el nivel de PC en la dieta está por encima de 13%, la concentración de amoníaco sobrepasa los 5 mg, y sobrepasa este nivel aún más rápido cuando la disponibilidad de energía en rumen es baja. La eficiencia de utilización del nitrógeno no proteico es inversamente proporcional a la concentración de amoníaco en rumen (Satter y Roffler, 1977).

Por lo tanto a mayor cantidad de nitrógeno consumido, menor será la eficiencia de utilización del mismo (unidad retenida por unidad consumida) ya que según Veira et al. (1980) aumenta proporcionalmente más las excreciones que el balance de nitrógeno. Parte del amoníaco liberado en el rumen no puede ser fijado por los microorganismos, entonces se absorbe y es llevado por la sangre hasta el hígado, donde se transforma en urea, siendo la mayor parte no utilizada por el animal y excretada en la orina (Garriz y López, 2002).

La mayor parte de la urea formada en el hígado se excreta a través de la orina, una parte (hasta el 20 %) es reciclada al rumen a través de la saliva o por difusión directa desde la sangre a través de la pared del rumen (Bondi, 1988).

Las raciones pobres en nitrógeno provocan un mayor reciclaje y una menor excreción de urea en orina (Garriz y López, 2002).

2.6 METABOLISMO ENERGÉTICO

2.6.1 Granos como fuente de energía

La ganadería, en muchas de las situaciones productivas, depende del aporte de proteína y energía por parte de los granos, proviniendo esta última principalmente de los granos sorgo y maíz (Rooney y Pflugfelder, 1986).

Herrera Saldana et al. (1990a) afirman que los granos de cereales son la fuente más común de energía rápidamente disponible para los animales. Pordomingo (2013) coincide con los autores anteriores y agrega que la dependencia de los granos se ve con mayor énfasis en los encierros de animales, en los cuales éste forma el componente principal de la dieta excediendo normalmente el 65% de la misma, definiendo así lo que va a ser el aporte de energía metabolizable, y las características físicas que va a tener el alimento.

A la hora de elegir el grano que será la base en la elaboración de la ración, hay que considerar la coyuntura actual de los precios de los mismos. El sorgo es de inferior calidad, pero su precio desde enero del 2007 a la fecha ha sido considerablemente menor con respecto al maíz (24% inferior en dicho período) (Cámara Mercantil de Productos del País, 2015). Esto hace que a la hora de elaborar una dieta, se tome en cuenta la calidad pero además el precio del grano ya que influye por lo menos en un 60-65% del costo de la alimentación.

2.6.2 Degradación del almidón

El almidón es el carbohidrato de almacenamiento, o azúcar de reserva que tienen las plantas. Es un polisacárido cuya estructura consta de glucosas unidas entre sí por enlaces glucosídicos α 1-4 para el caso de la amilosa y enlaces α 1-4 y α 1-6 para la amilopectina (Van Lier y Regueiro, 2008). La cantidad que los granos tienen de uno u otro polisacárido depende mucho de la especie y la variedad aunque la amilosa por lo general no supera el 20% del total (Rooney y Pflugfelder, 1986).

La importancia de tener claro el contenido y la fermentabilidad del almidón de los granos radica en que es en esas propiedades que hay variación entre los mismos. Este conocimiento lleva a una predicción más acertada acerca del uso de estos en las dietas (Huntington et al., 2006).

Cerca del 75% de la digestión de la fibra, el almidón y la proteína de la dieta que se da en el rumen es responsabilidad de las bacterias que se adhieren al alimento (Huntington, 1997) y es además el proceso a través del cual el animal obtiene la mayor parte de la energía necesaria para cumplir sus funciones (Pordomingo, 2013).

Por su parte los protozoarios no contribuyen mucho a la degradación, aunque se ha observado que bajo situaciones en las cuales al animal se le administra dietas con componentes muy digestibles lo que hacen es englobar estos sustratos en su interior protegiéndolos de la acción bacteriana, enlenteciendo los procesos y consecuentemente, protegiendo el ambiente

ruminal (García Sacristán et al., 1995). Por último, según McAllister et al. (1994) los hongos colaboran indirectamente en la degradación provocando lesiones sobre el tejido vegetal que facilita la acción de las bacterias.

Por lo general los granos están protegidos de la acción de estos organismos ya que su función esencial es preservar el embrión que llevan dentro (Huntington, 1997). Kotarsky et al. (1992) explican que la estructura del grano está conformada de tal forma que el pericarpo envuelve al embrión y al endosperma, que servirá como fuente de energía durante la germinación y las primeras etapas del crecimiento. Una vez abierto el grano, es decir, una vez que se rompe el pericarpo, el almidón se considera de fácil digestión (Van Lier y Regueiro, 2008).

Para romper la protección y acceder a la fuente energética hay una combinación de factores que incluyen; acción mecánica, temperatura, humedad y tiempo (Huntington, 1997). Cuanto mayor sea la incidencia de estos factores, más expuesto quedará el almidón para ser atacado por los microorganismos ruminales.

La acción mecánica (masticación) que aplica el animal al grano es normalmente sustituida por la molienda (u algún otro proceso) del mismo previo al suministro ya que la masticación durante el consumo o durante la rumia no es suficiente; el animal no mastica el 100% de los granos lo que lleva a un desperdicio de los mismos al no poder prácticamente extraerles nutrientes. La molienda se hace más importante para el caso del sorgo ya que los animales es muy poco lo que lo mastican y esto lleva a que pase casi intacto a través del rumen (Stirtzler, 2004).

Una vez que el grano pasó por la combinación de factores anteriormente mencionados las bacterias se pueden adherir a la partícula de alimento como primer paso hacia la digestión del mismo. Al adherirse a la partícula, las bacterias secretan enzimas llamadas amilasas que lo que hacen es hidrolizar los enlaces α 1-4 y α 1-6. De cualquier modo no todas las bacterias tienen todas estas enzimas requeridas así que por lo general se precisa la intervención de varias especies para lograr la máxima digestión de las partículas (Huntington, 1997).

Los microorganismos a través de su propio metabolismo, partiendo del almidón (glucosa), liberan como producto final ácidos AGV, metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Los dos primeros contienen energía, pero solo los AGV pueden ser absorbidos y por lo tanto aprovechados; acético y butírico como precursores de la grasa corporal, y propiónico como precursor de la glucosa que se sintetiza en el hígado (Van Lier y Regueiro, 2008).

Owens et al. (1986), Huntington et al. (2006) sostienen que el metabolismo y absorción de la glucosa en el intestino delgado parece ser energéticamente más eficiente que la fermentación y absorción de AGV en el rumen. Esto es debido en parte a lo que reporta Ørskov (1986) acerca de que la fermentación ruminal conduce a pérdidas inevitables de calor y metano que pueden situarse en el rango de 12-20% de la energía que ingresa, de cualquier manera también sugiere, que la capacidad de la digestión enzimática está limitada por la cantidad de amilasa pancreática, y por el limitado tiempo que ésta continua actuando. Además, Huntington (1997) reporta que existen límites biológicos para el transporte de la glucosa a través de la pared intestinal.

La mayor eficiencia en el uso de la energía a nivel intestinal fue probada por McLeod et al. (2006). Su trabajo consistió en realizar infusiones a nivel abomasal o ruminal de almidón a novillos, para determinar cuanta energía era retenida por el animal en cada tratamiento. Reportaron una mayor eficiencia parcial de 0,6 para infusiones abomasales, contra 0,48 para infusiones ruminales. Por otra parte Harmond y McLeod (2001) reportaron valores de eficiencia para diferentes sitios de digestión siendo 80% para el rumen, 97% para el intestino delgado y 62% para el intestino grueso. De cualquier manera Huntington et al. (2006) reportaron que la utilidad de incrementar la absorción intestinal del almidón serviría más que nada en animales consumiendo bajas cantidades de materia seca.

2.6.3 Diferencias en la digestión de granos de maíz y sorgo

A la hora de evaluarlos en el plano energético, la deficiencia que tienen estos granos es su baja degradabilidad del almidón al compararla con otros granos energéticos como trigo, cebada y avena (Ørskov 1986, Herrera Saldana et al. 1990a).

El almidón es la principal forma de almacenaje de carbohidratos (energía) en los granos tanto de sorgo como de maíz. Ambos tienen una cantidad total similar (72% como porcentaje de la MS) pero esta difiere en cuanto a su degradabilidad, disminuyendo para el caso del sorgo. Hay que considerar que ese valor de almidón de los granos no refleja diferencias entre las fuentes del mismo y efectos de variedades, lugar, año y condiciones climáticas (Huntington, 1997). Los coeficientes de variación manejados por Herrera Saldana et al. (1990a) para el contenido de almidón son de 2,4% para el maíz y de 7,1% para el sorgo.

Cuadro 2. Composición de los granos de maíz y sorgo.

Nutriente*	Maíz	Sorgo
MS (%)	86	86
PC (%)	7 a 9	6 a 11
Total de nutrientes digestibles (%)	88	82
Energía neta de ganancia de peso (Mcal/kg MS)	1,55	1,35
Fibra cruda (%)	2,5	3
Grasa (%)	4	3

*MS: materia seca, PC: proteína cruda, Mcal/kg MS: mega calorías por kg de MS.

Fuente: Nahara (2006).

En el cuadro 2 realizado a partir de un trabajo de Nahara (2006) se puede apreciar la similitud entre ambos granos. Estos tienen aspectos nutricionales sobresalientes que diferencian al grano de sorgo con respecto al de maíz: menor calidad del almidón (menor digestibilidad ruminal y duodenal debido a una matriz proteica que actúa como barrera frente a los microorganismos del rumen), la concentración de taninos que interfiere en la digestión de proteínas y la baja concentración de aceites esenciales (Gallardo, 2007). Las proteínas que conforman esa matriz proteica en el grano de sorgo son la gluteína y la prolamina, que al ser insolubles no permiten el pasaje de los jugos digestivos del rumiante (Fernández, 2015). Los gránulos de almidón que se encuentran incrustados en esa matriz proteica son parte del endosperma periférico y corneo que se encuentra debajo de la capa de aleurona del grano, y luego de ese endosperma periférico se ubica el endosperma harinoso que contiene gránulos de almidón que no están incrustados en una matriz proteica, por lo cual no hay interferencias en el ataque de los microorganismos (Rooney y Pflugfelder 1986, Huntington 1997).

Theurer (1986) revisó las diferencias entre las digestibilidades y los sitios de digestión para los granos (con mínimos niveles de procesamiento) de cebada, maíz y sorgo. La digestión total de almidón fue de 99%, 99% y 97% para cebada, maíz y sorgo, respectivamente. En cuanto a los sitios, la digestión del almidón que llegaba al rumen fue de 88%, 84% y 75%, mientras que del que llegaba al intestino de 93%, 94% y 87%. A partir de estos datos, el autor concluyó que cuanto mayor es la degradabilidad ruminal del grano, mayor es su digestibilidad total.

Herrera Saldana et al. (1990a) estudiaron las diferencias en cuanto a la degradabilidad ruminal del almidón de los granos de avena, trigo, cebada, maíz y sorgo. El experimento tuvo dos componentes, uno fue la determinación in vitro y el otro la determinación in situ de los granos. La primer determinación de la

degradación se basó en una hidrólisis in vitro del almidón de los granos durante 60 minutos, reportando una tasa de degradación (%/hora) de 15,1%, 8,8%, 23,5%, 6,4%, y 3,1% para avena, cebada, trigo, maíz y sorgo respectivamente, hallándose diferencias estadísticamente significativas entre los valores correspondientes a maíz y sorgo. Si bien la digestión in vitro parece ser una buena estimación acerca de la degradabilidad de los granos, afirman que dicha información debe ser utilizada únicamente como guía y por lo tanto se debe estudiar el mismo fenómeno in situ, y para esto utilizaron novillos canulados. En la figura 2 se caracteriza la desaparición del almidón de los distintos granos en el rumen para el experimento llevado a cabo in situ.

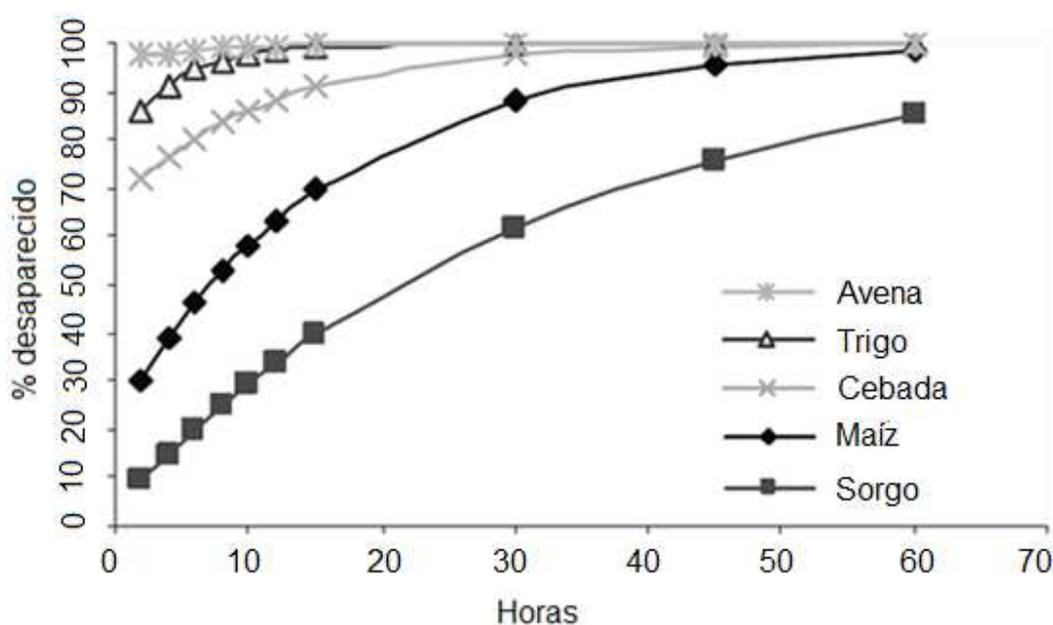


Figura 2. Tasa de desaparición (%/hora) del almidón a nivel ruminal según grano.

Fuente: Herrera Saldana et al. (1990a).

Las tasas de degradación instantáneas (0 hs. de empezado el experimento) fueron de 96,6%, 66,2%, 78,2%, 21% y 3,5 % para avena, cebada, trigo, maíz y sorgo, respectivamente, siendo los valores de maíz y sorgo estadísticamente iguales aunque se debe destacar que la tasa instantánea del maíz es 6 veces mayor a la de sorgo. Por otro lado, las tasas de degradación (%/hora) de la fracción lentamente degradable (k_d) dentro de las primeras 48 hs fueron de 7,05%, 14,73%, 19,28%, 5,34% y 6,43% para avena,

cebada, trigo, maíz y sorgo, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre los valores de maíz y sorgo (Herrera Saldana et al., 1990a).

Los valores obtenidos por Herrera Saldana et al. (1990a) son coherentes con reportes de AFRC (1993) que indican valores de energía metabolizable fermentable en rumen de 2,9 Mcal/kg MS para el grano maíz y de 2,57 Mcal/kg MS para el grano de sorgo.

2.6.4 Sincronización energética-proteica en el rumen

La sincronización de la fermentación ruminal entre la energía y la proteína aportadas por la dieta contribuye tanto a la metabolicidad de la misma (Herrera Saldana et al. 1990b, Hoover y Stokes 1993), como a la eficiencia de la síntesis de PMo (Sinclair et al. 1995, Koenig y Beauchemin 2013).

La optimización en la utilización de la PDR (incluyendo nitrógeno no proteico) por parte de la microflora ruminal ocurre si la degradación de la proteína y de los carbohidratos se da en forma simultánea. Sin embargo, existen muchos casos en los que esta condición no se cumple. En dietas a base de forraje, la degradación de la proteína ocurre rápidamente mientras que la degradación de la energía (componentes del FDN) es más lenta (NRC, 2000).

Estudios realizados por Rush y Totusek (1975), Clanton (1979) en dietas basadas en forraje, los resultados de la utilización de la urea fueron contradictorios. Si el alimento es de baja calidad, la respuesta al agregado de urea es irrelevante, explicado porque la disponibilidad de energía en el rumen es baja, por lo tanto la síntesis de PMo se ve afectada (Mac Loughlin, 2007).

Por otro lado el uso de nitrógeno no proteico en dietas concentradas es muy útil ya que el almidón es rápidamente degradable y por lo tanto la energía está rápidamente disponible. Cuando se compara la adición de NNP con proteína natural, a un alimento de alta concentración energética, los resultados suelen ser más consistentes, no encontrándose diferencias en la productividad. La gran disponibilidad de energía en rumen incentiva la producción de PMo (Mac Loughlin, 2007).

En este tipo de dietas (altas en concentrados) ocurre lo contrario que para el caso de dietas basadas en forraje, es decir, el almidón se degrada rápidamente mientras que la proteína lo hace más lentamente (NRC, 2000). El ganado puede compensar esta asincronía reciclando nitrógeno, un ejemplo de esto ocurre cuando se observa la misma performance suplementando con proteína 3 veces por semana o todos los días (Beaty et al., 1994). También compensa cuando se ofrecen varias comidas al día como ocurre en el caso del feedlot (NRC, 2000).

Henning et al. (1993), Rihani et al. (1993), ambos trabajando con ovejas sugieren que no hay ventajas en sincronizar la disponibilidad de energía y la de proteína. Henning et al. (1993), suplementando animales intraruminalmente con urea, reportaron que a diferentes niveles de sincronización no se hallaron diferencias en la flora ruminal, ni en la eficiencia de conversión.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente existen diferencias en la digestión del almidón a nivel del rumen entre los distintos granos. La digestión del almidón en el rumen es mayor para el caso del maíz que para el sorgo grano (Theurer 1986, Herrera Saldana et al. 1990a), lo que significa que habrá más disponibilidad de energía en el rumen por cada kg de MS de maíz en comparación al sorgo. Por lo tanto, la utilización de grano de maíz en las dietas en lugar de sorgo, dispone de mayores cantidades de energía disponible en el rumen para aprovechar el nitrógeno presente proveniente de la PDR y de esa forma sintetizar mayor biomasa microbiana (Mac Loughlin, 2007) para aumentar el consumo de PM, siempre y cuando las dietas sean isoproteicas.

2.6.5 Efecto de utilizar maíz vs. sorgo como fuente de almidón sobre la performance animal

Monje (2002) realizó un experimento utilizando 24 terneros cruza Hereford x Cebú con un peso que promediaba los 157 kg en el cual comparó distintas dietas que contenían como principales ingredientes, en un 80% del total de la dieta en base fresca, uno de estos 4 componentes; maíz grano molido (t1), sorgo grano molido (t2), sorgo grano húmedo (t3) o una mezcla de granos de maíz y sorgo molidos (t4). El otro 20% de la dieta estaba formado en un 15% de núcleo comercial (40% de PC) y 5% de heno de alfalfa molido. En el cuadro 3 se presentan los resultados de los tratamientos.

Cuadro 3. Respuesta de los terneros a las distintas dietas.

Tratamiento	Consumo (kg/a/d)	EC* (kg alim/ kg PV)	Ganancia media diaria (kg/día)
t1- maíz grano molido	4,3	3,6	1,175
t2- sorgo grano molido	5,8	5,7	1,007
t3- sorgo grano húmedo molido	4,7	4,8	0,985
t4- mezcla maíz y sorgo	4,9	3,7	1,284

*EC: eficiencia de conversión.

Fuente: Monje (2002).

Al comparar los datos del experimento de Monje (2002), hablando en términos biológicos, el maíz (t1) tuvo un comportamiento claramente superior al

sorgo (t2) ya que obtuvo un índice de EC mucho menor y logró una ganancia superior. Usando maíz (t1) se logró un aumento de 1 kg de peso vivo utilizando el 63% de lo que se precisa con sorgo (t2), pero además logra ganancias diarias 16% superiores al compararlo con este último tratamiento. Por otro lado la mezcla de ambos granos (t4) presentó buenos resultados tanto en eficiencia de conversión (similar al grano de maíz solo) y en ganancia de peso vivo (mayores al grano de maíz) lo que aparece como una opción interesante al momento de reducir los costos de alimentación, en comparación con una ración 100% grano de maíz, sin perjudicar la performance animal.

Un experimento realizado por Larraín et al. (2009) comparó dietas elaboradas en base a granos (76% de este en base seca) de maíz y sorgo alto en taninos con prácticamente el mismo porcentaje de PC para ambas (13,3% para el maíz y 12,9% para el sorgo), e invariable en el resto de los componentes, sobre un lote de ganado Angus en terminación. Entre otros parámetros evaluó diferencias en ganancias diarias obteniendo una superioridad de 21% a favor de la dieta de maíz, peso vivo final obteniendo también una superioridad a favor del maíz de 40 kg, eficiencias de conversión de 5,2 y 6 (para maíz y sorgo respectivamente) y por último se evaluó el consumo diario de alimento en base seca aunque sin obtener diferencias significativas.

Otra forma de visualizar la diferencia entre un grano y otro es a través del impacto productivo obtenido en estudios realizados en INTA Rafaela en la década de los '90 citados por Gallardo (2007), en la cual se compara la respuesta en litros de leche producidos por vacas pastoreando alfalfa al agregado de maíz (0,9 litros/kg MS) o sorgo (0,7 litros/kg MS).

2.7 HIPÓTESIS

Existe un nivel de proteína cruda en la dieta de terneros de destete precoz alimentados en confinamiento con dietas a base de sorgo grano, que optimiza el crecimiento animal y la eficiencia de conversión del alimento.

La fuente de energía utilizada afecta la respuesta animal. El valor óptimo de proteína cruda en dietas a base de sorgo podría diferir del identificado para dietas a base de maíz.

Por otro lado, el nivel de proteína cruda en la dieta y la fuente de energía afectan la eficiencia de uso del nitrógeno.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El experimento fue llevado a cabo entre el 21 de enero y 1 de abril de 2015 en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) de la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC), de la Facultad de Agronomía, ubicada en el departamento de Paysandú, Uruguay, a 32°23'15" de latitud sur, y 58°02'35" de longitud oeste y a 49 metros sobre el nivel del mar.

3.2 CLIMA

El departamento de Paysandú cuenta con una temperatura media anual de 17,9 °C con mínimos promedios de 11,7 °C en junio y máximos promedios de 24,8 °C que se dan en enero; un régimen de precipitaciones promedio de 1218 milímetros anuales con máximos promedios en marzo de 147 mm y mínimos promedios en junio de 70 mm; y un índice de humedad promedio de 73% (MDN. DNM, s.f.).

Durante el período experimental las temperaturas históricas promedio se encuentran en los 24,8, 23,7 y 21,6 °C para enero, febrero y marzo respectivamente, y las precipitaciones en los 100, 131 y 147 mm para los mismos meses (MDN. DNM, s.f.).

3.3 INFRAESTRUCTURA

Para la estabulación individual de terneros, se utilizaron 30 corrales semitechados, con una superficie por animal de 12 m² y 18 m² (para los corrales chicos y grandes respectivamente) delimitados mediante tres hilos electrificados. Cada corral contaba con un comedero, un bebedero y un área de sombra provista por el tinglado que cubría aproximadamente la mitad del área destinada a cada ternero (anexo 1).

3.4 ANIMALES

Se utilizaron 30 terneros machos de raza Hereford, provenientes del rodeo de la EEMAC y castrados al nacer en la primavera del 2014. Fueron destetados precozmente el 16/12/2014 con un peso promedio de 87,9 ± 29,9 kg de peso vivo y una edad promedio de 81,6 ± 32,4 días. Hasta el momento del destete fueron manejados al pie de la madre sobre campo natural.

3.5 ALIMENTOS

Se formularon cinco concentrados, cuatro elaborados a base de sorgo difiriendo en el contenido total de proteína cruda; 13% (S13), 16% (S16), 19% (S19), 22% (S22) y uno elaborado a base de maíz con 19% de PC (M19)

(cuadro 4). Los concentrados fueron luego mezclados manualmente con heno de alfalfa sin picar en una relación 80/20 (concentrado/voluminoso) en base fresca (75/25 en base seca) en la ración totalmente mezclada (RTM).

Cuadro 4. Composición de los concentrados experimentales (valores expresados como porcentaje de la materia seca).

INGREDIENTES	Concentrados experimentales*				
	S13	S16	S19	S22	M19
Cáscara de arroz	7,51	7,5	7,48	7,47	8,22
Harina de soja	12,31	20,51	28,79	37,04	24,86
Grano de sorgo molido	75,91	67,73	59,47	51,25	0
Grano de maíz molido	0	0	0	0	62,26
Urea	0,54	0,53	0,53	0,53	0,59
Melaza	1,66	1,65	1,65	1,65	1,81
Zoodry Feedlot	0,21	0,21	0,21	0,21	0,23
Carbonato de calcio	1,28	1,28	1,28	1,28	1,4
Sal común (NaCl)	0,43	0,43	0,43	0,43	0,47
Rumensin (10% monensina)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
Levadura beef-sacc	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12
Total	100	100	100	100	100

*S13, S16, S19, S22: concentrados a base de sorgo con 13%, 16%, 19% y 22% de proteína cruda, M19: concentrado a base de maíz con 19% de proteína cruda, NaCl: cloruro de sodio.

3.6 TRATAMIENTOS

Los animales fueron distribuidos al azar a una de las cinco raciones experimentales, previa estratificación por peso, donde cada ternero constituyó una unidad experimental; evaluándose el nivel de proteína cruda variando entre 13% y 22% en dietas a base de sorgo, y el efecto de la fuente de almidón para dietas con 19% de PC.

3.7 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El período experimental abarcó 70 días, que fueron desde el 21/01/2015 al 01/04/2015. Previamente se realizó una fase de acostumbramiento (período pre-experimental) a las dietas experimentales de trece días desde el 8/01/2015 al 20/01/2015.

3.7.1 Período pre-experimental

Al momento de dar inicio al acostumbramiento, cada ternero estaba consumiendo 2,66 kilogramos por día de un concentrado comercial de destete

precoz con 18% de proteína cruda y 530 gramos de heno de alfalfa entero mezclados y suministrados en una sola comida diaria, siempre en base fresca.

El pasaje de la dieta pre-experimental a la experimental se realizó en 6 días, se inició el 08/01/2015 sustituyendo de a 440 gramos diarios el concentrado comercial por el experimental, manteniendo constante la cantidad de heno de alfalfa ofrecido y suministradas en 2 comidas diarias. Para el 13/01/2015 los terneros consumían 100% el concentrado experimental, y a partir de allí hasta el 20/01/2015 se aumentó la cantidad de concentrado y disminuyó la cantidad de voluminoso para alcanzar una relación concentrado/voluminoso de 80/20 suministradas en 3 comidas diarias; además de ir aumentando la cantidad total de alimento ofrecido a aquellos terneros que rechazaban menos del 10% del total ofrecido. Al final de éste período los terneros pesaban en promedio $111,3 \pm 40,3$ kilogramos.

3.7.2 Período experimental

Se suministraron 3 comidas diarias, de igual cantidad, a las 8:00, 14:00 y 19:00 hs. El alimento fue ofrecido *ad libitum* donde todas las mañanas antes de la primer comida se realizaba lectura de comedero pesando individualmente el rechazo de todos los animales y para el caso de aquellos que dejaban menos del 10% del alimento ofrecido durante dos días consecutivos se aumentaba en un 5% el total ofrecido, manteniendo siempre la relación concentrado/voluminoso antes mencionada.

El agua siempre estaba a disponibilidad de los animales, la cual provenía de una represa cercana a los corrales, extraída mediante una bomba eléctrica. Cada 10 días aproximadamente se realizaba una limpieza de todos los bebederos.

3.8 MANEJO SANITARIO

Al momento del destete se realizó la primo-vacunación contra Queratoconjuntivitis, Carbunco y Clostridiosis y 30 días posterior a ello, se dio la segunda dosificación de estas vacunas. En el mes de febrero se dosificó la vacuna obligatoria contra la aftosa. Además, desde el destete y cada 30 días se dosificó contra parásitos internos rotando principios activos: Ivermectina y Ricobendazole. Diariamente se revisaba el ganado a fin de constatar la necesidad de aplicar curabichera, antibiótico o lo que correspondiera según el caso.

3.9 DETERMINACIONES

3.9.1 Peso vivo y altura al anca

Al inicio del experimento, y cada 14 días, los terneros se pesaron individualmente. Las condiciones fueron siempre iguales; previo a la primer comida de la mañana, sin ayuno previo y en la misma balanza electrónica con precisión de $\pm 0,5$ kg. Simultáneamente, cada 28 días se midió la altura al anca con una varilla centimetrada. Esto se realizó dentro del tubo, procurando no apretar los animales para asegurar una correcta medición; adicionalmente la misma fue realizada siempre por la misma persona. Esta medición permite establecer la relación peso vivo/altura al anca.

3.9.2 Consumo de materia seca

El consumo de materia seca de cada ternero, fue estimado diariamente como la diferencia entre la cantidad de alimento ofrecido y rechazado.

3.9.3 Contenido de materia seca del alimento ofrecido y residual

Semanalmente, los días lunes se tomaron muestras del alimento ofrecido (concentrado y heno) y los días martes del rechazo de cada ternero. Estas muestras fueron secadas a estufa de aire forzado a 60 °C hasta peso constante (aproximadamente 48 hs) a fin de determinar el porcentaje de materia seca (%MS) de las mismas. Las muestras secas fueron conservadas para su posterior análisis químico.

3.9.4 Digestibilidad aparente

En la semana 4 del período experimental se realizó la estimación de la digestibilidad aparente in vivo del alimento mediante la técnica de recolección total de heces (Lascano et al., 1990). El consumo de alimento continuó siendo registrado diariamente conforme fue descrito más arriba, realizándose la colecta total de heces durante tres días consecutivos (13, 14 y 15 de febrero). El procedimiento consistió en primera instancia de una limpieza total de los corrales a última hora del día 12 de febrero. Durante los tres días sucesivos se fue recolectando a lo largo del día individualmente todas las heces. El peso total fresco de las heces para cada animal fue registrado cada 24 hs de recolección (al final de cada día). Al momento de la pesada, se tomó una sub-muestra de las heces de cada ternero para posterior análisis de MS y composición química.

El contenido de MS de las heces fue determinado sobre una muestra compuesta por animal en estufa de aire forzado a 60°C hasta peso constante (7 días). Estas muestras fueron molidas y conservadas para posterior realización

de análisis químicos. Para dicho análisis se tomó una muestra compuesta por tratamiento.

La digestibilidad aparente de la MS fue estimada como:

$$\text{Digestibilidad de MS (\%)} = \frac{\text{cantidad de MS consumida} - \text{cantidad de MS excretada en heces}}{\text{cantidad de MS consumida}} \times 100$$

3.9.5 Nitrógeno ureico en sangre

Dos días previos al inicio de la prueba de digestibilidad se realizó muestreo de sangre a todos los terneros con el fin de determinar la concentración de urea. La extracción de sangre se realizó 4 horas después de la primera comida del día, tomada de la región coccígea, utilizando tubos de ensayo con anticoagulantes.

Una vez en el laboratorio, para extraer el suero de las muestras, la sangre entera se colectó en tubos secos con acelerador de coagulación (NIPRO Medical Corporation) y luego las muestras fueron centrifugadas durante 15 minutos a 5000 RPM. Una vez obtenido el suero se alicuotó (500 uL) en freezer a -20 °C para conservarlo hasta el momento del análisis de nitrógeno ureico.

3.9.6 Registros climáticos

Los registros diarios de temperatura y precipitaciones para el período experimental fueron obtenidos de la Estación Agrometeorológica Automática de la EEMAC, ubicada aproximadamente a 2 km del lugar donde fue llevado a cabo el experimento.

3.10 EFICIENCIA DE CONVERSIÓN

La eficiencia de conversión fue calculada como el cociente entre consumo de materia seca diario y la ganancia media diaria.

3.11 ANÁLISIS QUÍMICOS

Tanto del alimento ofrecido como del rechazado, se realizaron muestras compuestas representativas de todo el periodo experimental. Para todos los casos, se realizó una muestra por tratamiento del concentrado correspondiente, del fardo y del rechazo, las que fueron enviadas a laboratorio para determinar C% (cenizas), PC%, aFDNmo% (fibra detergente neutro de la materia orgánica) y FDAmo% (fibra detergente ácido de la materia orgánica). Estas mismas determinaciones fueron realizadas en el laboratorio para la muestra compuesta por tratamiento de las heces.

Para el caso de la PC, el contenido de nitrógeno se extrajo mediante el método Kjeldahl que consiste en la extracción de amonio a partir del nitrógeno de las sustancias nitrogenadas provenientes de las muestras a través de una digestión en caliente con ácido sulfúrico concentrado. Para convertir el nitrógeno en proteína cruda se corrigió por el factor 6,25 (AOAC, 2012).

Los contenidos de FDN y FDA fueron determinados de forma secuencial y para esto se utilizó la tecnología Ankom (Fiber Analyzer 200, Ankom Technology Corporation, Fairport, N.Y.) (Van Soest et al., 1991). Para la obtención de la ceniza se incinera la muestra a 600 °C (AOAC, 2012). Por último la materia orgánica (MO) se obtiene por diferencia al restarle las cenizas obtenidas a la muestra seca (Van Soest et al., 1991).

3.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El experimento fue analizado mediante modelos lineales correspondientes a un diseño de parcelas al azar, en el cual se consideró a cada animal como una unidad experimental. Se utilizaron diferentes procedimientos dentro del paquete estadístico SAS (del SAS Institute).

El efecto de los tratamientos sobre la ganancia media diaria de peso vivo fue analizado usando un modelo de heterogeneidad de pendientes para medidas repetidas en el tiempo, estudiándose la evolución del peso vivo en función de los días experimentales, en base al procedimiento MIXED y de acuerdo al siguiente modelo general:

$$Y_{ijklm} = \beta_0 + \zeta_j + \varepsilon_{jk} + \beta_1 d_1 + \beta_{1j} \zeta_j d_1 + \beta_2 PV_{jk} + \sigma_{ijklm}$$

donde:

Y_{ijklm} : Peso vivo.

β_0 : intercepto.

ζ_j : efecto del j-ésimo tratamiento (1, 2, 3, 4, 5).

ε_{jk} : error experimental.

β_1 : pendiente promedio (ganancia diaria) del peso vivo (PV) en función de los días (d_1).

β_{1j} : es la pendiente del peso vivo en función de los días para cada tratamiento.

β_2 : es la pendiente que afecta a la covariable PV al inicio del experimento (PV_{jk}).

σ_{ijklm} : es el error de la medida repetida en el tiempo (dentro de animales).

Para el análisis de las variables de respuesta asociadas al consumo de alimento se utilizó el procedimiento MIXED de acuerdo al modelo general:

$$Y_{ijklm} = \mu + \zeta_j + \varepsilon_{jk} + S_1 + (\zeta S)_{jl} + \sigma_{ijklm}$$

donde:

Y_{ijklm} : Consumo de materia seca

μ : media general.

ζ_j : efecto del j-ésimo tratamiento (1, 2, 3, 4, 5).

S: efecto de la S-ésima semana (1,2...,10).

ε_{jk} : error experimental.

σ_{ijklm} : es el error de la medida repetida en el tiempo (dentro de animales).

La eficiencia de conversión, digestibilidad y concentración de nitrógeno ureico en sangre fueron analizadas mediante el procedimiento GLM según un modelo lineal general de la forma:

$$Y_{ij} = \mu + \zeta_j + \varepsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} : Eficiencia de conversión, digestibilidad y nitrógeno ureico en sangre.

μ : media general.

ζ_j : efecto del j-ésimo tratamiento (1, 2, 3, 4, 5).

ε_{ij} : error experimental.

En todos los casos, para la comparación de medias ajustadas se utilizó el test de Tukey, considerándose como efectos significativos $P < 0,05$.

El efecto lineal y cuadrático de acuerdo al nivel de proteína en la dieta fue evaluado para los tratamientos a base de sorgo.

4. RESULTADOS

4.1 REGISTROS CLIMÁTICOS

En el cuadro 5 se pueden ver los registros climáticos correspondientes a las variables de temperaturas media, máxima y mínima (°C) y precipitaciones (mm) evaluadas durante el período (los registros diarios se presentan completos en anexos 2, 3 y 4).

Cuadro 5. Temperatura (T) media, máxima y mínima y precipitaciones durante el período experimental.

	Enero (21 al 31)	Febrero	Marzo
T media (°C)	23,8	24,0	22,3
T máxima promedio (°C)	30,2	30,3	28,8
T mínima promedio (°C)	17,8	18,3	16,6
Precipitaciones (mm)	33,8*	61,6	48,2

*corresponden únicamente a los 10 últimos días del mes que fueron los que coincidieron con el período experimental.

4.2 CALIDAD DEL ALIMENTO OFRECIDO Y RESIDUAL

En el cuadro 6 aparece el análisis químico de las RTM, así como también el correspondiente al alimento rechazado, diferenciados ambos por tratamiento. Los análisis químicos de los concentrados experimentales y el heno de alfalfa se presentan en el anexo 5.

Cuadro 6. Composición química del alimento ofrecido (RTM) y del rechazo según tratamiento.

	Tratamientos				
	M 19%	S 13%	S 16%	S 19%	S 22%
	Alimento ofrecido				
MS* (%)	90,18	90,82	90,90	91,62	92,10
C (%)	6,36	6,41	5,92	7,73	7,73
PC (%)	18,64	14,26	16,70	18,70	22,34
FDN (%)	29,18	30,08	31,04	26,03	31,48
FDA (%)	16,83	19,40	20,39	16,75	20,24
	Alimento rechazado				
MS (%)	84,91	84,60	84,09	85,24	84,27
C (%)	6,56	8,14	6,80	9,91	6,81
PC (%)	15,62	12,28	10,53	16,82	10,77
FDN (%)	44,08	56,80	61,32	39,14	60,15
FDA (%)	28,61	40,53	43,92	25,80	44,49

*MS: Materia seca, C: Ceniza, PC: Proteína cruda, FDN: Fibra detergente neutro, FDA: Fibra detergente ácida.

En el gráfico 4 se observa que el aporte real de proteína que tuvieron las RTM a base de sorgo se ajustaron a lo formulado en el concentrado.

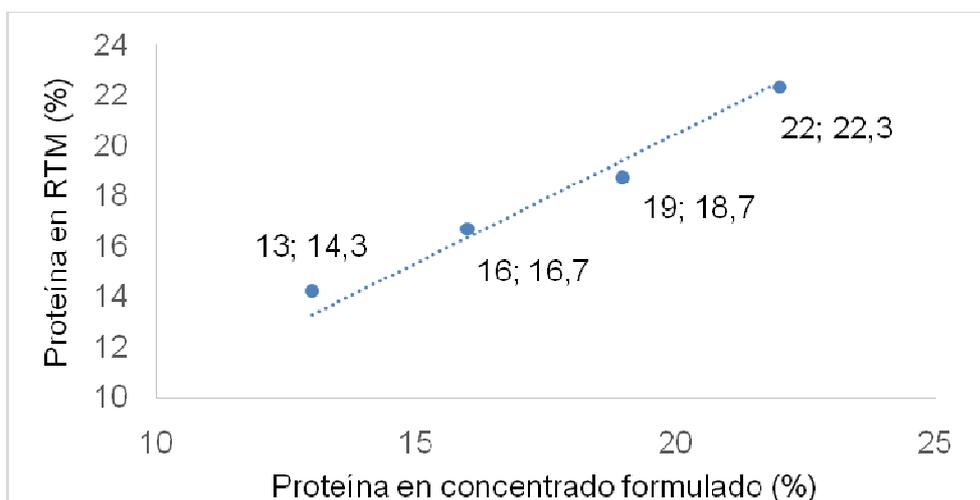


Gráfico 4. Relación entre la proteína del concentrado formulado y la de la RTM a base de sorgo.

4.3 PESO VIVO, ALTURA AL ANCA Y RELACIÓN PESO VIVO / ALTURA AL ANCA

En el gráfico 5 se observa la evolución de peso vivo a lo largo del período experimental para dietas a base de sorgo con distintos niveles de PC y en el gráfico 6 la evolución para dietas isoproteicas con distinta fuente de energía.

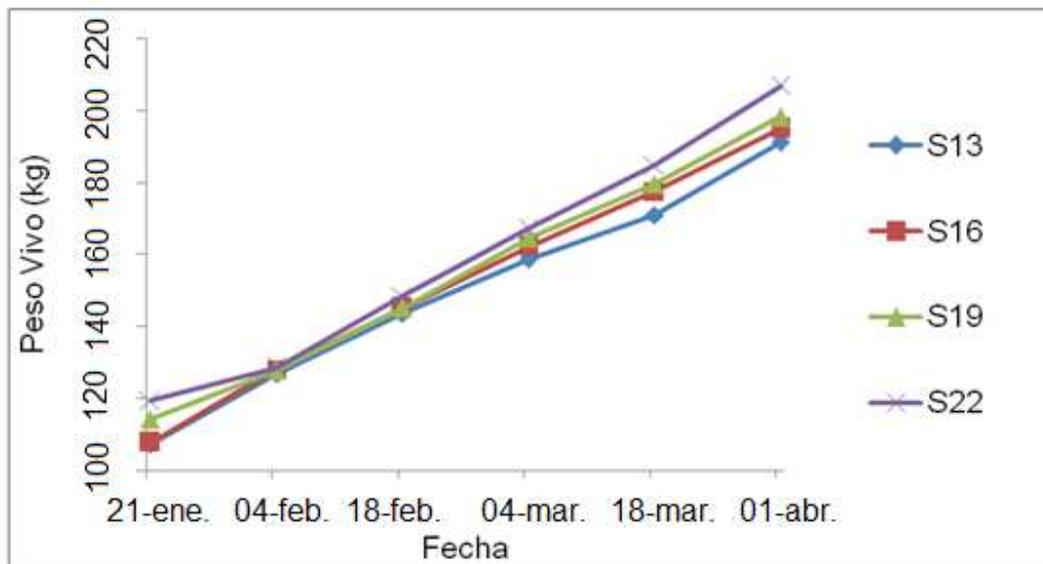


Gráfico 5. Efecto del nivel de proteína cruda en la dieta sobre la evolución del peso vivo de terneros consumiendo raciones a base de sorgo.

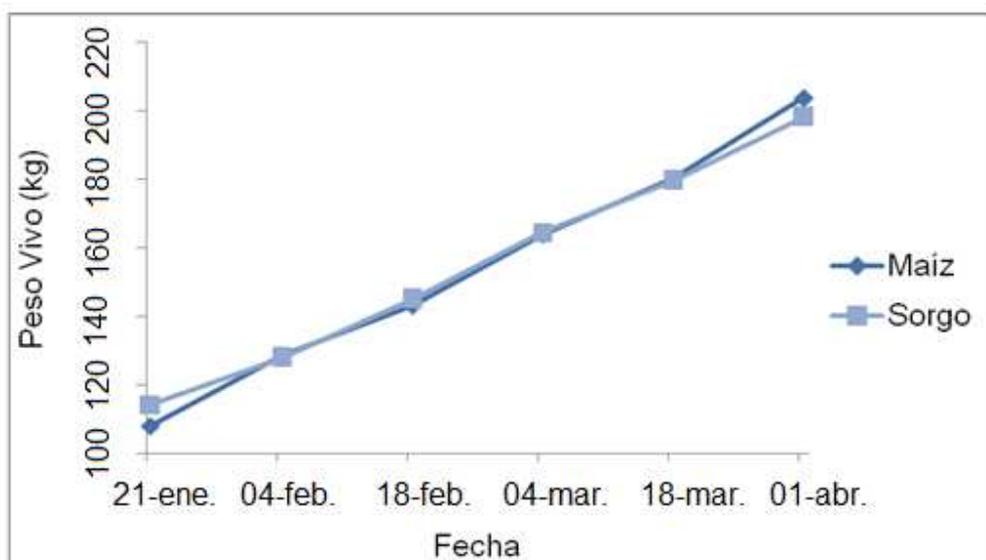


Gráfico 6. Evolución de peso vivo para los tratamientos consumiendo raciones isoproteicas (19%) elaboradas a base de sorgo o maíz.

Las medias ajustadas para peso vivo (PV), altura al anca (AA) y relación peso vivo / altura al anca (PV/AA) se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Peso vivo inicial y efecto del tratamiento sobre el peso vivo, altura al anca y relación peso/altura a la salida del corral.

	Tratamiento					Probabilidad		M19 vs. S19
	M19	S13	S16	S19	S22	Efecto lineal	Efecto cuadrático	
PVi (kg)*	108,1	107,2	107,8	114,2	119,3	0,2700	0,7898	0,6166
PVf (kg)	203,8	191,1	194,8	198,1	206,7	0,0028	0,4563	0,2135
AAf (cm)	105,9	100,1	102,7	103,4	103,8	0,0066	0,2090	0,0551
PV / AAf	1,91	1,90	1,89	1,91	1,98	0,0744	0,2456	0,9367

*PVi: Peso Vivo inicial, PVf: Peso Vivo final, AAf: Altura al Anca final, PV – AAf: relación peso vivo – altura al anca final.

Para el PV inicial, no se encontraron diferencias estadísticas ($P=0,8138$; anexo 6) entre tratamientos. El PV final difirió entre tratamientos ($P=0,0162$; anexo 7), observándose una respuesta lineal positiva al nivel de proteína cruda en dietas a base de sorgo ($P=0,0028$; cuadro 7), donde por cada punto porcentual adicional de proteína en dieta, el peso final fue 1,94 kg superior (gráfico 7).

Dentro de las dietas isoproteicas no se encontraron diferencias para PVf al sustituir maíz por sorgo como fuente de almidón (P=0,2135). La covariable PV inicial afectó significativamente al PV final (P<0,0001).

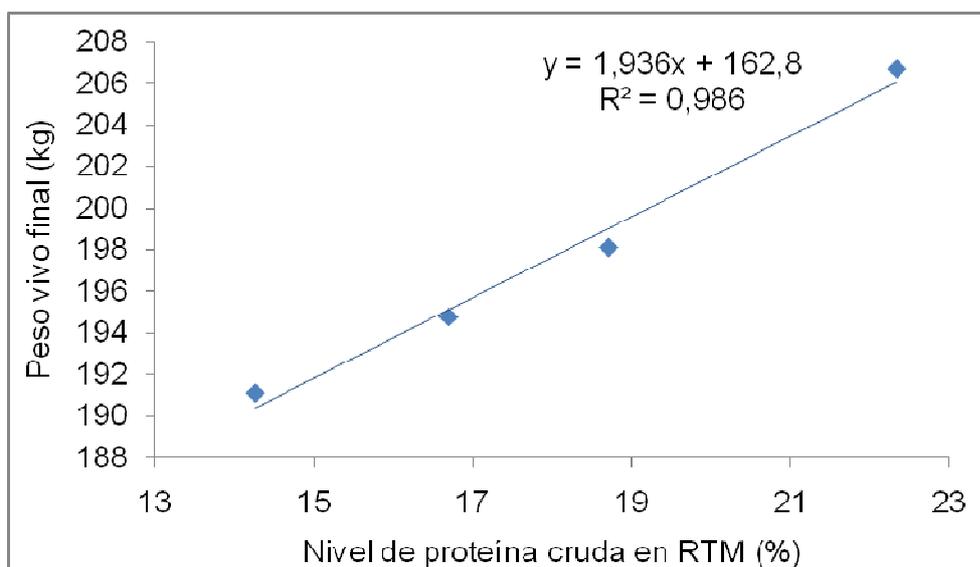


Gráfico 7. Efecto del nivel de proteína cruda en la RTM a base de sorgo sobre el peso vivo a la salida del corral.

La altura al anca final fue afectada por el tratamiento (P=0,0014; anexo 8), mostrando una respuesta lineal positiva (b=0,393; P=0,0066). La covariable altura al anca inicial afectó significativamente a la altura al anca final (P<0,0001). Para las dietas isoproteicas, si bien no se hallaron diferencias significativas al sustituir maíz por sorgo grano para la AA final, si se halló una marcada tendencia a favor de M19 (P=0,0551).

La relación peso vivo/altura al anca a la salida del corral no fue afectada por los tratamientos (P=0,3560; anexo 9), observándose una tendencia hacia una respuesta lineal positiva a medida que se incrementó la proteína cruda en la dieta (P=0,0744). Como los tratamientos no afectaron esta variable, tampoco hubo diferencias entre el tratamiento maíz y sorgo con 19% PC (P=0,9367). La relación peso/altura inicial afectó significativamente la relación peso/altura final (P<0,0001).

4.4 CONSUMO DE MATERIA SECA, GANANCIA MEDIA DIARIA Y EFICIENCIA DE CONVERSIÓN

En el cuadro 8 se observan las medias ajustadas para consumos, ganancia media diaria y eficiencia de conversión.

Cuadro 8. Efecto del nivel de proteína cruda en la dieta sobre el consumo de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro, ganancia media diaria y eficiencia de conversión de terneros consumiendo raciones a base de sorgo o maíz.

	Tratamientos					Probabilidad		
	M19	S13	S16	S19	S22	Efecto lineal	Efecto cuadrático	M19 vs S19
CMS* (kg/a/d)	4,80	5,32	5,26	5,61	5,78	0,3038	0,7513	0,1321
CMS (%PV)	3,20	3,73	3,56	3,57	3,44	0,1637	0,8713	0,0637
CPC (kg/a/d)	0,91	0,78	0,92	1,06	1,37	<0,0001	0,2384	0,1451
CFDN (kg/a/d)	1,32	1,41	1,44	1,39	1,62	0,2383	0,3586	0,6875
GMD (kg/día)	1,31	1,12	1,18	1,26	1,38	<0,0001	0,4622	0,4107
EC	3,74	4,87	4,49	4,42	4,24	0,0015	0,4275	0,0005

*CMS: Consumo de materia seca, PV: Peso vivo, CPC: Consumo de proteína cruda, CFDN: Consumo fibra detergente neutro, GMD: Ganancia media diaria, EC: Eficiencia de conversión.

El CMS expresado en kg/a/d no fue afectado por el tratamiento ($P=0,4043$; anexo 10). Sí se vio afectado por la semana de experimento ($P<0,0001$) observándose un aumento a medida que pasaban las mismas (gráfico 8). Al sustituir maíz por sorgo en las dietas isoproteicas con 19% PC no se afectó el CMS ($P=0,1321$; gráfico 10A).

El CMS expresado como %PV, si bien no fue afectado por el tratamiento, ($P=0,1064$; anexo 11), mostró una tendencia a aumentar cuando se sustituyó maíz por sorgo en dietas isoenergéticas con 19% PC ($P=0,0637$).

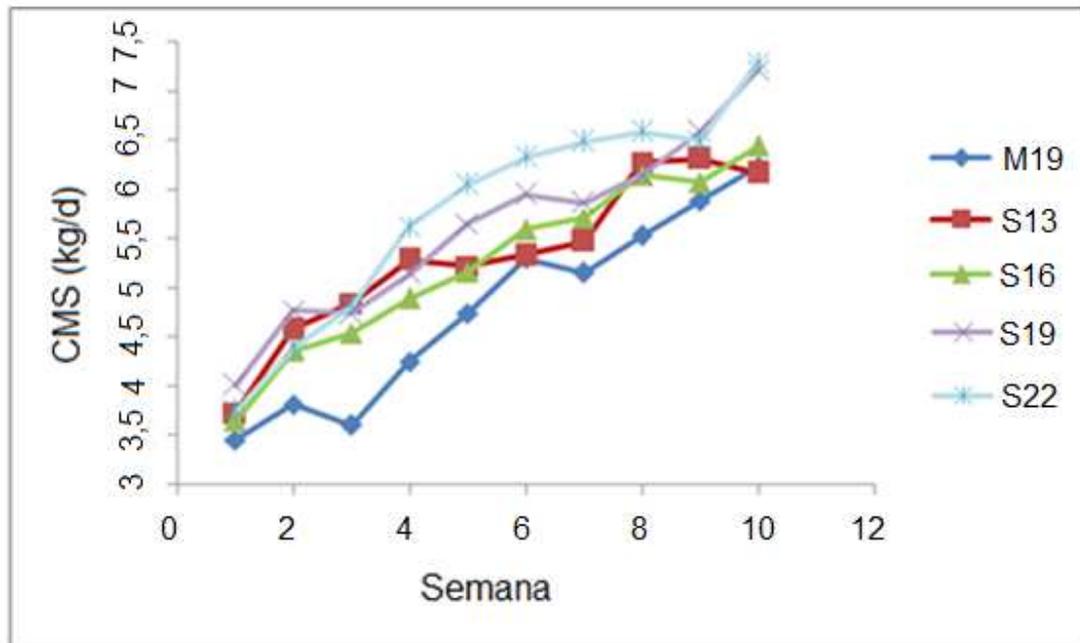


Gráfico 8. Efecto de la semana experimental sobre el consumo de materia seca (kg/a/d).

La GMD fue afectada por el tratamiento ($P=0,0005$; anexo 14), observándose en las dietas a base de sorgo una respuesta lineal positiva ($P<0,0001$; gráfico 9) de 0,033 kg de ganancia extra por día ante el incremento de un punto porcentual en el contenido de PC en dieta.

Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en GMD cuando se sustituyó el sorgo por maíz con 19% de PC ($P=0,4107$; gráfico 10B).

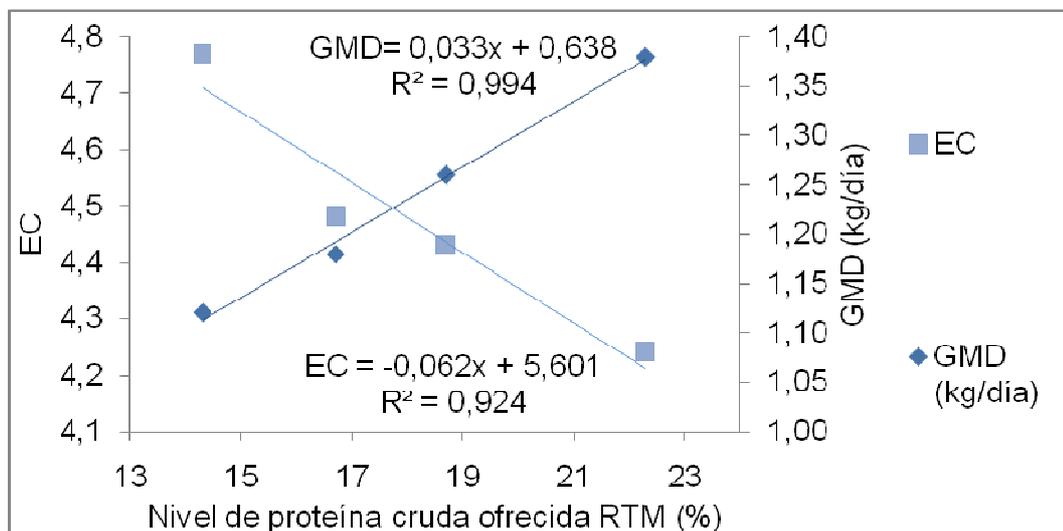


Gráfico 9. Efecto del nivel de proteína cruda ofrecida en la RTM a base de sorgo sobre la eficiencia de conversión (EC) y ganancia media diaria (GMD) en terneros de destete precoz.

La eficiencia de conversión también fue afectada por el tratamiento ($P < 0,0001$; anexo 15). Ante niveles crecientes de proteína cruda en dietas a base de grano de sorgo se encontró una respuesta lineal negativa ($P = 0,0015$; gráfico 9), en donde al incrementar la concentración de proteína en dieta la eficiencia de conversión fue disminuyendo (mejorando). Por cada punto porcentual que se elevó el contenido de PC en dieta, fueron necesarios 0,062 kg menos de alimento para obtener 1 kg de peso vivo.

La eficiencia de conversión (gráfico 10C) mejoró significativamente cuando se incluyó maíz en lugar del sorgo manteniéndose en 19% la PC en la dieta ($P = 0,0005$). Con una dieta a base de sorgo fueron necesarios 0,68 kg de alimento extra para ganar 1 kg de peso vivo. Cabe destacar que la eficiencia de conversión con una dieta de 19% de proteína cruda basada en maíz fue incluso superior al mejor tratamiento de sorgo (22%) ($P = 0,0578$). A su vez se observó que un mayor peso vivo inicial empeoró la eficiencia de conversión ($P < 0,0001$).

El CPC (kg/a/d) tuvo diferencias entre tratamientos ($P < 0,0001$; anexo 12) observándose una respuesta lineal positiva ante incrementos en el nivel de proteína cruda en dietas a base de sorgo ($P < 0,0001$; cuadro 8). Sin embargo, para los tratamientos con 19% PC no existieron diferencias debidas a la fuente de almidón ($P = 0,1451$). En cuanto al CFDN (kg/a/d) no se hallaron diferencias entre los tratamientos ($P = 0,3890$; anexo 13). A medida que pasaron las semanas se incrementó el consumo para estas dos variables ($P < 0,0001$).

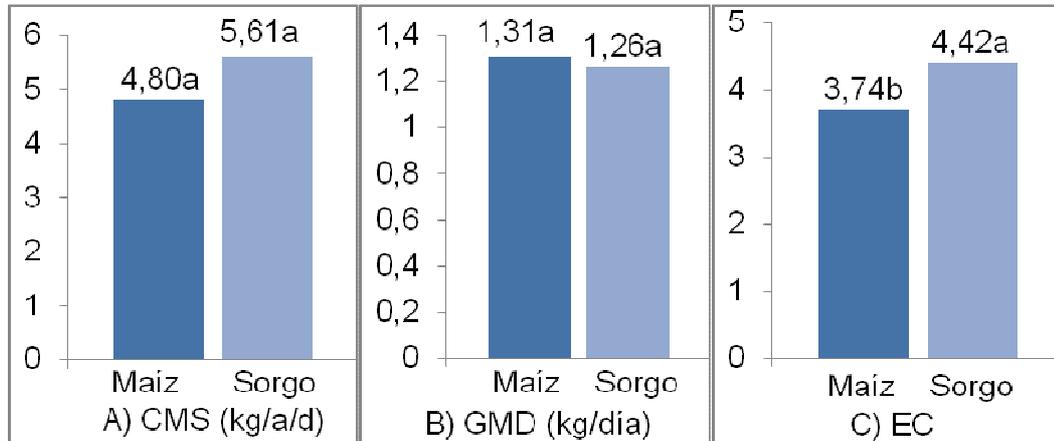


Gráfico 10. Efecto del tipo de grano en dietas isoproteicas (19%PC) sobre A) CMS, kg/a/d B) GMD; kg/d y C) EC en terneros destetados precozmente.

4.5 DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, MATERIA ORGÁNICA, PROTEÍNA CRUDA Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO

Para la digestibilidad de la materia seca no se encontraron diferencias entre los tratamientos ($P=0,4609$; anexo 16). Tampoco se encontraron para la digestibilidad de la materia orgánica ($P=0,1430$) aunque se observó una tendencia de respuesta lineal positiva debida al nivel de PC en la dieta ($P=0,0761$; cuadro 9).

La digestibilidad aparente de la proteína cruda también mostró una respuesta lineal ($P=0,0040$) asociada al nivel de PC en dietas a base de sorgo, no hallándose diferencias debidas a la sustitución de sorgo por maíz ($P=0,2404$).

La digestibilidad de fibra detergente neutro no fue afectada por el nivel de PC ($P=0,4882$) ni por la fuente de almidón ($P=0,6482$).

Cuadro 9. Efecto del nivel de proteína en las dietas a base de sorgo grano sobre las digestibilidades de materia seca (DMS), materia orgánica (DMO), proteína cruda (DPC) y fibra detergente neutro (DFDN).

	Tratamiento					Probabilidad		
	M19	S13	S16	S19	S22	Efecto lineal	Efecto cuadrático	M19 vs S19
DMS (%)	84,0	78,7	81,4	82,9	82,2	0,2113	0,4146	0,7039
DMO (%)	87,1	80,8	82,2	85,3	84,8	0,0761	0,5946	0,4931
DPC (%)	86,7	78,1	79,3	83,4	85,9	0,0040	0,7296	0,2404
DFDN (%)	71,9	58,9	68,1	68,4	63,2	0,5930	0,1911	0,6482

4.6 NITRÓGENO UREICO EN SANGRE

La concentración de nitrógeno ureico en sangre fue afectado significativamente por el tratamiento ($P < 0,0001$; anexo 17) aumentando linealmente a medida que aumentó el nivel de proteína cruda ofrecida en la dieta ($P < 0,0001$; anexo 18). Las medias de la concentración de nitrógeno para los tratamientos con sorgo se puede observar en el gráfico 11, en el cual se ve que por cada punto porcentual de incremento en la PC en la dieta, el nitrógeno ureico en sangre aumentó 0,02 gramos por litro.

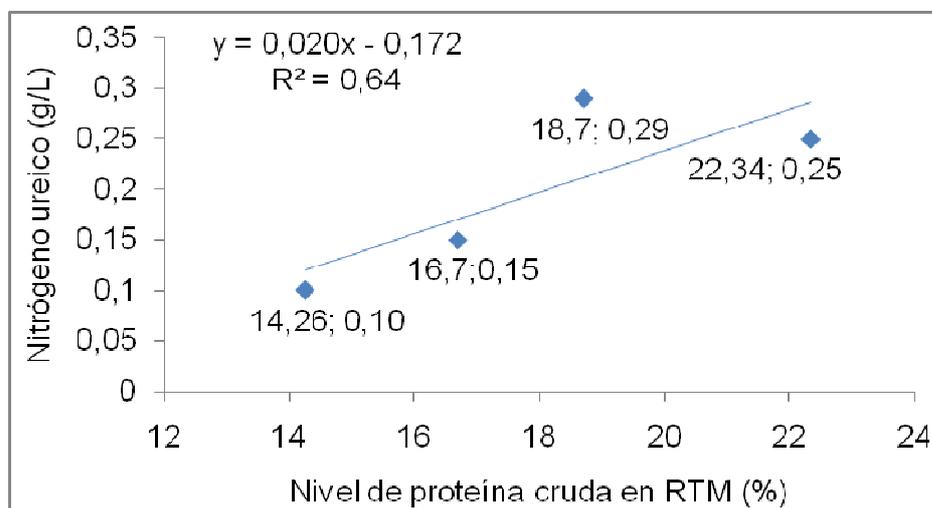


Gráfico 11. Efecto del nivel de proteína cruda en RTM sobre la concentración de nitrógeno ureico en sangre en terneros consumiendo dietas a base de sorgo.

Por otro lado, el nitrógeno ureico en sangre aumentó significativamente ($P < 0,0001$) al sustituir el maíz por sorgo y manteniendo constante el nivel de proteína cruda en el total de la dieta. El efecto de la sustitución prácticamente duplicó el nivel de nitrógeno ureico en sangre (gráfico 12).

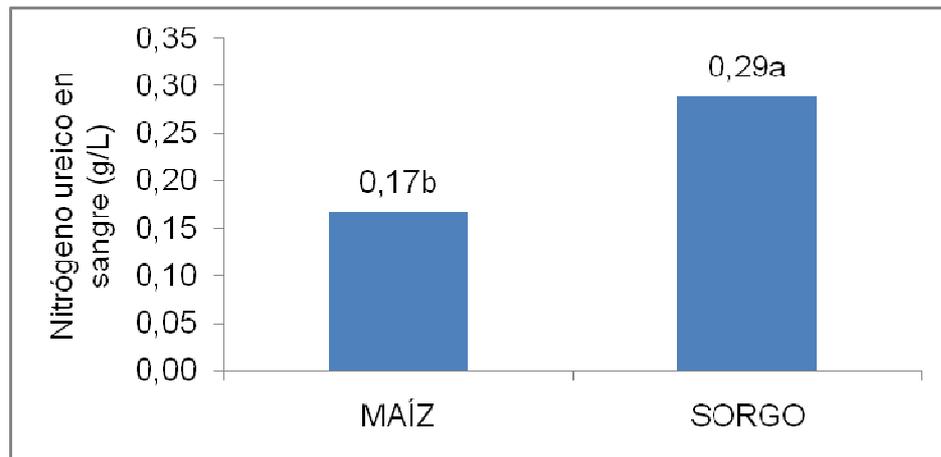


Gráfico 12. Concentración de nitrógeno ureico en sangre según tipo de grano para dietas isoproteicas (19%).

5. DISCUSIÓN

5.1 CLIMA

Los registros de temperaturas medias fueron similares a los históricos obtenidos por MDN.DNM (s.f.) de 24,8, 23,7 y 21,6 °C para enero, febrero y marzo respectivamente contra 23,8, 24 y 22,3 °C registrados para los mismos meses durante el período experimental.

El régimen de precipitaciones durante el período experimental ha sido históricamente de 100, 131, y 147 mm para los meses de enero, febrero y marzo y en el período evaluado se registraron 288, 61,5 y 48,3 mm para los mismos meses. De los 288 mm caídos en enero únicamente 33,8 mm tuvieron lugar en el período experimental por lo que el régimen de precipitaciones fue menor al histórico. Considerando únicamente los últimos 10 días de enero, y todo febrero y marzo las precipitaciones fueron 32% inferiores a lo habitual.

Para evaluar el efecto año sobre el estrés calórico se utilizó el índice de temperatura y humedad (ITH) (Valtorta y Gallardo, 1996). Este índice se calcula como:

$$ITH = (1,8 Ta + 32) - (0,55 - 0,55 HR/100) (1,8 Ta - 26)$$

Donde Ta= Temperatura del aire (°C) y HR= Humedad del aire (%).

A partir de esta ecuación se calculó el valor diario de ITH y guiándose por los valores planteados por Mader et al. (2006) en los cuales asignan riesgos por estrés calórico en base al ITH (normal, menos de 74; alerta, entre 74 y 79; peligro, entre 79 y 84 y emergencia por encima de 84), únicamente un día (27 de enero) el mismo entró en el rango de peligro. El resto de los días entraron en el rango de normal o alerta, y ninguno en el de emergencia por lo que no se considera que factores ambientales hayan afectado el experimento ya que según Mader et al. (2006), las categorías de peligro y emergencia son las que tienen riesgo potencial de afectar el desempeño productivo de los animales.

5.2 CALIDAD DEL ALIMENTO OFRECIDO, RECHAZADO Y CONSUMIDO

El contenido de PC en las dietas formuladas (M19, S13, S16, S19 y S22) fue similar al contenido de las raciones ofrecidas (18,64%, 14,26%, 16,70%, 18,70% y 22,34% respectivamente) salvo para el caso de S13 que varió 1,26 puntos porcentuales. Las diferencias respondieron a las variaciones esperadas entre valores de composición química tabulados usados para la formulación y los valores reales de los ingredientes. Los componentes mayoritarios de esas raciones fueron los granos de maíz (62,26% de la ración experimental M19) y de sorgo (entre 51,25% y 75,91% de la S13, S16, S19 y

S22). Mieres (2004) sintetiza información generada durante ocho años de análisis de distintos tipos de alimentos que fueron enviados por productores, técnicos e investigadores al laboratorio de nutrición animal de INIA La Estanzuela. El grano de maíz presentó un contenido de PC promedio de 9,2% con un máximo de 12,7% y un mínimo de 7% (n=21, s=1,48), en tanto para el sorgo estos valores serían de 8,6%, 24% y 5,8% (n=48, s=3,12) promedio, máximo y mínimo, respectivamente. Otro gran componente de las raciones fue la harina de soja (la cual representó entre 12,30% y 37,04% del total de la MS) y cuyo contenido promedio de PC varía entre 44% y 53,8% según Gallardo (2007).

Otro componente de la ración totalmente mezclada fue el voluminoso que, cuanto más participación tenga en la dieta y peor sea la calidad del mismo, más afectará la proteína cruda realmente ofrecida. En el caso de las dietas experimentales, todas incluyeron 20% de heno de alfalfa en base fresca con 11,96% de PC según los análisis de laboratorio (anexo 5), afectando por lo tanto de manera igual a todos los tratamientos.

Por otra parte, el animal a través de la selección estableció el contenido de proteína cruda que consumió. Los tratamientos con dietas a base de sorgo grano S16 y S22 rechazaron un alimento con un contenido de PC más bajo que los tratamientos S13 y S19, lo que hizo que los primeros consumieran un contenido más elevado de lo que se le ofreció de dicho nutriente. La concentración proteica del alimento realmente consumido por los terneros fue de 14,62%, 17,47%, 18,89% y 23,79% para los tratamientos S13, S16, S19 y S22 respectivamente. El tratamiento S13 consumió por encima de lo formulado (13% PC) ya que el nivel de PC ofrecido fue elevado explicado por la propia concentración de proteína del concentrado y no por la selección que realizaron los animales.

El rechazo de alimento de los terneros tuvo un elevado contenido de FDN y FDA. La concentración de FDN en el rechazo estuvo en torno a 58% para los tratamientos S13, S16 y S22 y para M19 y S19 en torno a 42%, valores superiores al 30% en la RTM ofrecida. Esto significa que para todos los tratamientos la selección fue en contra del fardo y a favor del concentrado ya que el fardo tenía 65% de FDN y los distintos concentrados 20% aproximadamente. El voluminoso fue ofrecido sin previo picado por lo que los animales pudieron seleccionar más fácilmente, apartando el heno (aún con raciones totalmente mezcladas). Los terneros al estar alimentados *ad libitum* promovieron más la capacidad selectiva, a diferencia de animales restringidos donde la prioridad es consumir materia seca para aumentar el consumo de nutrientes. Cangiano (1997) afirma que para animales en pastoreo cuando existe un exceso de forraje con respecto a la demanda animal y hay

heterogeneidad en la pastura, los animales tienen la oportunidad de seleccionar algunas plantas o partes de las mismas rechazando otras. Este principio de selección de la pastura extrapolado a la RTM podría estar afectando el consumo de heno en el presente trabajo.

5.3 EFECTO DEL NIVEL DE PROTEÍNA CRUDA SOBRE LA PERFORMANCE ANIMAL MEDIDA A TRAVÉS DE CMS, GMD Y EC

El CMS expresado tanto en kg/a/d como en %PV no fue afectado por el nivel de PC en la dieta. De la misma forma, para CMS expresado como kg/a/d, Fluharty y Loerch (1995), Valadares et al. (1997), Pascoal et al. (2000), no encontraron diferencias. Los resultados obtenidos en cuanto a la respuesta de CMS en función al nivel PC en dieta en este experimento no fueron consistentes con los obtenidos por Neville et al. (1977) utilizando animales de similar biotipo y peso inicial consumiendo dietas a base de maíz con una relación concentrado/voluminoso 90/10. Dichos autores encontraron una respuesta cuadrática del CMS al aumentar la concentración de PC, pero posiblemente eso se deba a que el rango de PC utilizada en la dieta fue superior llegando hasta niveles de 28,5%. En la misma línea Morteiro y Young (2014) también encontraron diferencias en el CMS con un experimento de características muy similares al aquí presentado, evaluando en terneros de destete precoz igual rango de variación del nivel de PC y una relación concentrado/voluminoso de 90/10, pero en dietas formuladas en base a grano de maíz reportando una respuesta cuadrática frente al incremento de PC en la dieta, donde el máximo consumo se ubicó en 17,5% de PC.

Si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas ($P=0,1064$) en cuanto al CMS expresado como %PV, se observó que a mayores niveles de proteína cruda disminuía el consumo. Neville et al. (1977) reportaron que no hallaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al CMS (expresado como kg/a/d) entre tratamientos con 14,5%, 18,9% y 23,7% de PC en dieta, pero al elevarlo a 28,5% el CMS disminuyó significativamente. Fluharty y Loerch (1995) si bien indican que no hubo un descenso significativo en el CMS (expresado como kg/a/d) a medida que se elevó la PC en dieta, reportaron valores de 5,74, 5,69 y 5,44 kg/a/d para los tratamientos con 14%, 20% y 26% de PC, respectivamente.

Factores nutricionales como la digestibilidad del alimento, tiempo de retención en el rumen y la concentración de productos metabólicos son importantes en la regulación del consumo. Cuando la dieta es muy concentrada en términos energéticos, la regulación del consumo que predomina es el mecanismo metabólico, que asume un límite superior en el consumo de energía digestible, el que, cuando es alcanzado, regula el consumo por la concentración de energía digestible de la dieta (Cangiano, 1997). En el presente experimento

a medida que la dieta es más concentrada en términos proteicos disminuye la participación del grano de sorgo en la RTM pero aumenta el aporte de energía metabolizable ya que aumenta el componente harina de soja en la ración que tiene más concentración de energía que el grano de sorgo. Por lo tanto el consumo de materia seca podría estar siendo regulado por productos metabólicos derivados tanto de la proteína como de la energía.

Basándose en lo dicho por La Manna et al. (2011), la causa de una disminución en el CMS frente a incrementos en el nivel de PC en dieta puede haberse debido a que a medida que la dieta es más concentrada en términos proteicos necesita menos cantidad de alimento para lograr cubrir los requerimientos de PM destinada a mantenimiento y ganancia de peso vivo. Si bien la concentración proteica de la dieta no se relaciona directamente con la PM consumida, en este caso, el nivel de proteína cruda en la dieta se eleva aumentando el componente harina de soja en detrimento del grano de sorgo, modificando las cantidades y proporción del total de proteína correspondiente a proteína microbiana y proteína no degradable en el rumen.

Se utilizaron las ecuaciones de AFRC (1993) para estimar el aporte de proteína metabolizable, resultado de la síntesis de proteína microbiana y la proteína no degradable en el rumen en cada tratamiento. En el cuadro 10 se puede observar cual habría sido la disponibilidad de energía metabolizable fermentable en rumen, síntesis de proteína microbiana verdadera y digestible y proteína digestible no degradable en el rumen para los distintos tratamientos.

Cuadro 10. Estimación del aporte de PM a partir de la energía metabolizable fermentable en rumen, síntesis de proteína microbiana verdadera y digestible y proteína digestible no degradable en rumen en los distintos tratamientos.

	Tratamientos			
	S13	S16	S19	S22
FEM* (Mcal/d)	12,10	12,22	13,07	13,66
PMo (g/d)	283,4	335,2	369,6	388,6
UDP _d (g/d)	234,4	278,7	348,9	430,5
PM (g/d)	517,8	613,9	718,5	819,1

*FEM: Energía metabolizable fermentable en rumen, PMo: Proteína microbiana verdadera y digestible, UDP_d: Proteína digestible no degradable en rumen, PM: Proteína metabolizable.

Fuente: AFRC (1993).

La harina de soja si bien tiene un componente importante de proteína de sobrepeso que ronda entre 20% y 35% aproximadamente (NRC, 1996),

también tiene una fracción importante que es degradable a nivel del rumen. Además, presenta mayor concentración de energía metabolizable fermentable a nivel ruminal (3,03 Mcal/kg) que el grano de sorgo (2,57 Mcal/kg) (AFRC, 1993). Esto hace que no solo aumente el consumo de PM gracias a la proteína de sobrepaso, sino que también se logre un aumento en la producción de proteína microbiana. Para los tratamientos S13, S16 y S19 lo que limitó la producción de proteína microbiana fue la proteína efectivamente degradable en rumen (ERDP) y para S22 lo que limitó la producción de proteína microbiana fue la FEM. Esto es lógico ya que con bajos niveles de proteína en dieta limita la disponibilidad de nitrógeno en rumen y ante elevados niveles de proteína en dieta falta energía para aprovechar todo el nitrógeno disponible. Por cada punto porcentual de incremento en la PC en la dieta, el aumento en el consumo de PM se explica más por la UDP_d que por la PMo. Aunque por otro lado el consumo de PM también es mayor porque a medida que aumenta el nivel de proteína cruda en la dieta los terneros consumen un poco más de materia seca. Para poder visualizar el efecto de la composición de la dieta (que determina el nivel de proteína) sin que el consumo afecte el resultado, en el cuadro 11 se observa la participación de la UDP_d en el total de la PM y el consumo de PM por cada kilogramo de materia seca consumida.

Cuadro 11. Participación de la UDP_d en el total de la PM y consumo de PM por kilogramo de materia seca para cada tratamiento.

	Tratamientos			
	S13	S16	S19	S22
UDP_d (%PM)*	45,3	45,4	48,6	52,6
PM (g/kg MS)	97,3	116,7	128,1	141,7

* UDP_d : Proteína digestible no degradable en rumen, PM: Proteína metabolizable.

Fuente: AFRC (1993).

Retomando el concepto de La Manna et al. (2011), en el presente trabajo se cumple con que a medida que la dieta es más concentrada en términos de proteína metabolizable, los terneros disminuyen su consumo (expresado en %PV) ya que necesitan menos cantidad de alimento para satisfacer las necesidades de mantenimiento y determinado aumento de peso vivo.

Cuando se midió el CMS expresado como kg/a/d los tratamientos con mayor nivel de PC presentaron mayores consumos, a diferencia de lo que ocurrió cuando se expresó como %PV. A la entrada del corral los animales del tratamiento S19 pesaban 7 kg más que aquellos de los tratamientos S13 y S16, y los de S22 12 kg más que estos últimos dos. Además al tener mayores

ganancias de peso vivo diario a medida que pasaron los días, estas diferencias de peso vivo se fueron incrementando, y de esa forma aumentando el consumo de materia seca expresada como kg/a/d. Esto coincide con lo dicho por Valadares et al. (1997) que indican que la capacidad ingestiva de los terneros se incrementa conforme aumenta el peso vivo de los mismos. Esta es la razón por la cual no se encontró la misma tendencia que al expresar el CMS como %PV. A su vez, lo dicho por Valadares et al. (1997) estaría también explicando que haya existido un efecto significativo de la semana sobre el CMS expresado como kg/a/d.

Otro de los parámetros evaluados de la performance animal fue la GMD que fue afectada por el nivel de PC en la dieta, ajustando su comportamiento a una respuesta lineal. Esto es consistente con lo reportado por la mayoría de los autores consultados, tanto Tieri et al. (2011a) utilizando terneros Hereford x Angus, como La Manna et al. (2011) utilizando terneros Hereford obtuvieron ésta misma respuesta, aunque los animales no eran de destete precoz. Si bien las dietas utilizadas en ambos trabajos fueron también a base de sorgo, los niveles proteicos manejados (13 a 17% de PC) fueron más acotados que los del presente experimento. Pascoal et al. (2000) utilizando animales de razas carniceras de destete precoz alimentados con dietas a base de sorgo grano presentaron resultados en los cuales obtuvieron una tendencia a una respuesta lineal aunque no llega a ser significativa, lo cual atribuyen a la proximidad entre los niveles proteicos utilizados (13 a 19% de PC).

Fluharty y Loerch (1995), Hill et al. (2008), Morteiro y Young (2014) son los únicos trabajos en los cuales la respuesta de GMD a niveles crecientes de proteína es de tipo cuadrática. La diferencia puede radicar en el tipo de grano utilizado como base en la dieta ya que los tres utilizaron grano de maíz. Al tener el grano de maíz mayor digestibilidad del almidón (Theurer 1986, Herrera Saldana et al. 1990a, Gallardo 2007), hay más energía disponible en el rumen, por lo tanto los microorganismos utilizan mejor la proteína degradable a nivel ruminal (Mac Loughlin, 2007). Esto lleva a que con menos porcentaje de proteína cruda en la ración se logre el plateau; por otro lado en raciones a base de sorgo donde la proteína degradable a nivel del rumen se utiliza con menor eficiencia ya que hay menor disponibilidad de energía en el rumen para aprovechar el nitrógeno disponible (Gallardo, 2007), existe respuesta en GMD a mayores niveles de proteína cruda total en la dieta. Esa mayor respuesta está dada principalmente por mayor cantidad de proteína no degradable a nivel ruminal que es consumida, brindada por la harina de soja que es el ingrediente a través del cual se regula el contenido de PC.

Fluharty y Loerch (1995), Morteiro y Young (2014) encontraron que a partir de determinado nivel de PC en la dieta (20% y 17% respectivamente)

comienza a descender la GMD, esta disminución según los primeros autores (que utilizaron animales más grandes) podría ser debido a un aumento en los requerimientos energéticos para eliminar los excesos de nitrógeno.

El parámetro de EC se obtiene mediante el cociente entre CMS (expresado como kg/a/d) y la GMD.

La eficiencia de conversión tuvo una respuesta que se ajustó a un modelo lineal en el cual a medida que aumentó el contenido de PC en la dieta, el mismo disminuyó, es decir, fueron necesarios menos kg de alimento para aumentar un kg de PV. Esto estaría explicado justamente por un mayor aporte de PM por cada unidad de alimento, requiriendo por tanto menos cantidad de alimento para aumentar un kilogramo de peso vivo. Los resultados coinciden con los autores que llevaron a cabo experimentos similares al aquí presentado como Pascoal et al. (2000), La Manna et al. (2011), Tieri et al. (2011a). Si bien Morteiro y Young (2014) reportan que el efecto de la PC sobre la EC es nulo, agregan que hallaron una tendencia a una respuesta cuadrática en la cual al aumentar el contenido, la eficiencia mejora.

En el presente trabajo, mientras que el CMS no fue afectado por el tratamiento, la GMD si lo fue (lineal positivo), por lo que fue lógica la mejora en la EC a medida que se incrementaron los niveles de proteína cruda. Si bien no se llegó a un nivel de PC que optimice la EC, los mejores valores de EC coinciden con las mayores ganancias medias diarias para el rango de PC en dieta entre 13% y 22%.

La causa de una tendencia general a mejorar la EC al aumentar el %PC, puede ser explicada también por una mayor digestibilidad de la dieta (Veira et al. 1980, Pascoal et al. 2000) consecuencia de un mayor contenido en kg de PC por kg de alimento, que es la responsable de que a un mismo CMS (expresado como kg/a/d) la GMD sea mayor.

Para aumentar el nivel de PC de la dieta se sustituyó sorgo grano por harina de soja (manteniendo el resto de los componentes constantes), esto provocó un aumento proporcional mayoritario de proteína no degradable en rumen en comparación a la proteína microbiana (cuadro 10), por lo tanto como la proteína no degradable en rumen tiene mayor eficiencia de utilización en el duodeno que la proteína microbiana (Mac Loughlin, 2007), aumenta la digestibilidad de la PC.

En el presente trabajo se encontraron únicamente diferencias significativas en la digestibilidad de la proteína cruda con una respuesta lineal al contenido de la misma en dieta, al igual que lo encontrado por Tieri et al. (2011b). La ausencia de diferencias en la digestibilidad de la materia seca

puede deberse a que la proteína cruda es solamente uno de los componentes de la misma. Henneberg y Stohmann, citados por Trujillo et al. (2006) dividen las fracciones que componen la materia seca en materia orgánica (proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y extracto no nitrogenado) y cenizas. En el presente trabajo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la digestibilidad de la materia orgánica y eso podría estar explicando la ausencia de diferencias en la digestibilidad de la materia seca. Por lo tanto, en este caso la mejora en eficiencia de conversión al incrementar el nivel de PC en la dieta no estaría explicada por una mayor digestibilidad de la dieta.

5.4 EFECTO DE LA FUENTE DE ALMIDÓN SOBRE LA PERFORMANCE ANIMAL MEDIDA A TRAVÉS DE CMS, GMD Y EC

Cuando se comparó el CMS expresado como %PV entre maíz y sorgo con el mismo nivel de PC (19%) se observó una tendencia a que terneros alimentados a base de maíz consumieran menos (3,2%) que aquellos que lo hicieron a base de sorgo (3,6%). Esto se puede relacionar a lo obtenido por Monje (2002) donde si bien compara el consumo expresado como kg/a/d, obtiene que en terneros de 157 kg en promedio y con un 80% de la dieta a base de sorgo o maíz grano, los terneros alimentados a base de sorgo consumieron más (5,8 kg/a/d) que los alimentados a base de maíz (4,3 kg/a/d). Como se mencionó anteriormente el consumo está regulado mediante un mecanismo metabólico, que cuando se alcanza determinado nivel de consumo de energía digestible el consumo comienza a disminuir (Cangiano, 1997). El grano de maíz al tener mayor digestibilidad del almidón que el sorgo (Theurer 1986, Herrera Saldana et al. 1990a, Gallardo 2007) genera más disponibilidad de energía, y de esa forma al haber un mayor consumo de energía digestible se logra la disminución en el consumo tal como se observa en la tendencia hallada en el presente trabajo y en el de Monje (2002).

Al comparar las dietas isoproteicas, al variar la fuente de energía no se obtuvieron diferencias en cuanto a la GMD. Esto no es consistente con ningún resultado relevado en el capítulo de revisión bibliográfica, en el cual se puede ver que el maíz es superior en términos de performance al sorgo (Monje 2002, Gallardo 2007, Larraín et al. 2009). De cualquier manera, al analizar los datos se puede observar que a pesar de no haber diferencias estadísticas para GMD cuando estas eran esperables, el tratamiento con la dieta a base de sorgo grano consumió 16,5% más proteína (en kg/a/d) que el de maíz, explicado por el mayor consumo de alimento.

Cuando se contrastó la eficiencia de conversión que tuvieron los terneros se observó una superioridad estadísticamente significativa a favor del maíz. El mismo resultado encontraron Monje (2002) con terneros de 157 kg en promedio cruza Hereford x Cebú, y Larraín et al. (2009) con novillos Aberdeen

Angus en terminación, ambos variando únicamente el tipo de grano (maíz o sorgo). Si bien en el presente trabajo no se hallaron diferencias estadísticas en el consumo expresado como kg/a/d entre maíz y sorgo, los animales alimentados con sorgo consumieron por día 0,88 kg más (17% adicional). Lo mismo ocurrió para GMD aunque en menor magnitud, donde si bien no hubieron diferencias significativas entre ambos granos, los terneros alimentados a base de maíz lograron una ganancia adicional de 50 gramos por día (4% adicional). Estas dos diferencias hicieron que los terneros del tratamiento M19 tuvieran una eficiencia de conversión significativamente menor comparada con la del tratamiento S19, aunque el menor consumo de materia seca por parte del tratamiento M19 sería el mayor responsable.

La argumentación biológica de esa menor eficiencia de conversión está dada por la calidad de un tipo de grano y otro. Gallardo (2007) resalta que el almidón del sorgo presenta menor digestibilidad ruminal y duodenal debido a una matriz proteica que actúa como barrera frente a los microorganismos del rumen, además la concentración de taninos interfiere en la digestión de proteínas. Por lo tanto el grano de sorgo al tener una menor digestibilidad, se necesita más cantidad de grano para aumentar un kilogramo de peso vivo (empeorando la eficiencia de conversión). Como la digestión total del almidón no solamente es mayor en el rumen (84% vs. 75%) sino que a lo largo del tracto también es mayor para el caso de los granos de maíz que sorgo (99% vs. 97%, respectivamente) (Theurer, 1986), para lograr los mismos consumos de energía metabolizable se necesita consumir más cantidad de grano de sorgo que de maíz empeorando la eficiencia de conversión del alimento.

Por otro lado, como el grano de maíz tiene mayor energía metabolizable fermentable en rumen que el grano de sorgo (explicado por su mayor digestibilidad) incentiva la mayor síntesis de PMo. Esta mayor producción de PMo cuando los animales son alimentados a base de maíz generaría un mayor consumo de PM. A continuación, en el cuadro 12 se puede observar la energía metabolizable fermentable en rumen, síntesis de PMo, proteína digestible no degradable a nivel ruminal y consumo de proteína metabolizable para los tratamientos S19 y M19.

Cuadro 12. Efecto del tipo de grano en dietas isoproteicas sobre la FEM, síntesis de PMo, UDP_d y consumo de PM por día en terneros destetados precozmente consumiendo dietas *ad libitum*.

	Tratamientos	
	S19	M19
FEM* (Mcal/d)	13,07	12,14
PMo (g/d)	369,6	333,3
UDP _d (g/d)	348,9	306,1
PM (g/d)	718,5	639,4

*FEM: Energía metabolizable fermentable en rumen, PMo: Proteína microbiana verdadera y digestible, UDP_d: Proteína digestible no degradable en rumen, PM: Proteína metabolizable.

Fuente: AFRC (1993).

Los valores presentados en el cuadro 12 están referidos a los niveles de consumo de materia seca que tuvieron ambos tratamientos. Los mayores consumos de proteína metabolizable como de energía metabolizable fermentable en rumen del tratamiento S19 podrían estar asociados a que los terneros de dicho tratamiento consumieron 5,61 kg de MS frente a 4,80 kg de MS para los terneros del tratamiento M19 (17% superior). Para evaluar la síntesis de PMo (asociado a la FEM), UDP_d y consumo de PM entre una dieta y otra sin el efecto consumo de materia seca, se plantean a continuación en el cuadro 13 dichas variables expresadas por kilogramo de materia seca consumida.

Cuadro 13. Efecto del tipo de grano en dietas isoproteicas sobre la FEM, síntesis de PMo, UDP_d y consumo de PM por kilogramo de materia seca en terneros destetados precozmente consumiendo dietas *ad libitum*.

	Tratamientos	
	S19	M19
FEM (Mcal/kg MS)	2,33	2,53
PMo (g/kg MS)	65,9	69,4
UDP _d (g/kg MS)	62,2	63,8
PM (g/kg MS)	128,1	133,2

Fuente: AFRC (1993).

El tratamiento M19 aporta mayor cantidad de FEM por cada kg MS consumida, lo que es lógico si nos basamos en lo expuesto anteriormente de que el grano de maíz presenta mayor digestibilidad a nivel ruminal. Esta mayor

energía disponible en rumen se refleja en una síntesis de PMo de 5,3% mayor y por lo tanto un mayor aporte de PM.

5.5 EFECTO DEL NIVEL DE PROTEÍNA Y TIPO DE GRANO SOBRE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO

La variable peso vivo a la salida del corral aumentó linealmente a medida que el nivel de proteína cruda en la ración totalmente mezclada incrementó. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por La Manna et al. (2011), Tieri et al. (2011a), aunque estos autores utilizaron rangos de PC más acotados que se encuentran entre 13% y 17%. Por otro lado Fluharty y Loerch (1995), Morteiro y Young (2014) reportan un comportamiento cuadrático del peso vivo final frente a aumentos en el nivel de proteína cruda. Dichos autores, como ya fue mencionado anteriormente, también encontraron un comportamiento cuadrático en la GMD, por lo que es razonable que el peso vivo a la salida del corral tuviera el mismo comportamiento; al igual que lo que sucedió en el presente trabajo y en los citados de La Manna et al. (2011), Tieri et al. (2011a), donde tanto el peso vivo final, como la GMD tienen comportamiento lineal frente a aumentos en el nivel de PC.

La altura al anca final presentó un comportamiento lineal a medida que se incrementó el porcentaje de proteína cruda en la dieta. El único antecedente encontrado para terneros destetados precozmente donde se evalúa la respuesta en altura al anca al nivel de PC es el de Morteiro y Young (2014) donde no encontraron diferencias significativas en dicho parámetro.

Por otro lado no se encontraron diferencias significativas en peso vivo ni altura al anca final cuando se varió el tipo de grano, aunque para este último parámetro si se halló una tendencia a favor del maíz que resultó en una mayor altura. En la relación peso vivo / altura al anca final ante incrementos en el nivel de proteína cruda no se encontraron diferencias, aunque existió una tendencia lineal positiva; dicha tendencia estaría explicada por el peso vivo final, que proporcionalmente aumenta más que la altura al anca. Esta tendencia se podría utilizar como indicador de la composición de la ganancia media diaria, por lo tanto a medida que se incrementa el nivel de PC en la dieta la participación porcentual de la grasa depositada por kg de peso vivo incrementado aumenta. A medida que se incrementa el nivel proteico de la dieta las tasas de ganancia son mayores, incentivando a una mayor deposición de grasa.

Morteiro y Young (2014) a diferencia de lo aquí presentado encontraron una respuesta cuadrática al nivel de PC en dieta para relación peso vivo / altura al anca.

5.6 EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO SEGÚN NIVEL DE PROTEÍNA Y TIPO DE GRANO

El nivel de proteína cruda en la dieta afectó la concentración de nitrógeno ureico en sangre, encontrándose un comportamiento lineal positiva a medida que se incrementó la concentración proteica en la RTM.

La concentración de nitrógeno ureico en sangre es un indicador de la eficiencia de uso de dicho componente ya que el amoníaco que no es fijado por los microorganismos se absorbe en el rumen y es transportado por la sangre hasta el hígado donde es transformado en urea, siendo la mayor parte de ésta no utilizada por el animal y excretada a través de la orina (Garriz y López, 2002).

Los resultados del presente experimento concuerdan con los reportados por Veira et al. (1980), Morteiro y Young (2014) que afirman que las respuestas de pérdidas de nitrógeno vía heces u orina también se comportan linealmente frente a aumentos en el contenido de PC de la dieta. También Tieri et al. (2011b), según los resultados publicados en su experimento, reportan que la excreción total de nitrógeno tuvo una respuesta cuadrática positiva a medida que aumentaron niveles de PC en la dieta.

Si bien a medida que se incrementa los niveles de proteína cruda en la dieta aumenta la cantidad de nitrógeno retenido por los animales (Veira et al. 1980, Tieri et al. 2011b, Morteiro y Young 2014) también se incrementa la cantidad de nitrógeno excretado vía orina principalmente (Garriz y López 2002, Tieri et al. 2011b, Morteiro y Young 2014) empeorando la eficiencia de uso de dicho nutriente (Veira et al. 1980, Garriz y López 2002). Fluharty y Loerch (1995) trabajando con novillos de 246 kg expresan que un exceso de proteína (encima de 20% de PC en dieta) desciende la performance animal ya que aumentan los costos energéticos para eliminar el amoníaco del rumen que no es utilizado por los microorganismos. Sin embargo, en el presente experimento se estimó el costo asociado a la excreción de amoníaco mediante las ecuaciones basadas en la metodología propuesta por Cohen (2001) y se observaron valores de 0,05, 0,06, 0,12 y 0,16 Mcal/día para los tratamientos de S13, S16, S19, y S22, respectivamente. Estos valores no son de magnitud importante cuando se los relativiza con los requerimientos totales de energía que también fueron calculados mediante las ecuaciones de AFRC (1993), y en donde para terneros de 150 kg de PV y con ganancias de 1,12 kg/día (S13) el requerimiento total de energía (mantenimiento y crecimiento) fue de 11,7 Mcal/día y para ganancias de 1,38 kg/día (S22) fue de 13,2 Mcal/día encontrándose entonces que el costo asociado a la excreción de nitrógeno se encuentra en el entorno del 1% de los requerimientos totales. Di Marco y Aello

(2002) coinciden en que el gasto energético por eliminación del amoníaco no es de magnitud importante.

Otro aspecto importante a señalar es que ante dietas con un mismo nivel de proteína cruda (19%), la concentración de nitrógeno ureico en sangre fue considerablemente mayor en animales que consumieron raciones a base de sorgo frente a aquellos que lo hicieron a base de maíz.

Anteriormente se expuso la superioridad del maíz con respecto al sorgo principalmente por la mayor digestibilidad del almidón (principal fuente de energía del grano). Al haber mayor disponibilidad de energía en el rumen, debido a esa mayor digestibilidad, los microorganismos pueden aprovechar mayores cantidades de nitrógeno para la síntesis de biomasa microbiana. Esta sería la razón por la cual en dietas a base de maíz la excreción de nitrógeno es menor y por tanto la eficiencia de uso de dicho componente es mayor a la de dietas basadas en grano de sorgo.

Por otro lado, Atasoglu et al. (2004) demostraron que algunos aminoácidos (fenilalanina, leucina, isoleucina y lisina) limitan el crecimiento microbiano porque los microorganismos ruminales tienen dificultades para sintetizarlos de novo. Dietas con altos contenidos de estos aminoácidos puede incrementar el crecimiento microbiano ruminal (Atasoglu et al., 2004) y por ende la eficiencia de utilización del nitrógeno. Sin embargo, al momento de evaluar la composición aminoacídica de un grano y otro no se observan grandes diferencias en lo que respecta a los aminoácidos mencionados anteriormente. El grano de maíz presenta una concentración de 5%, 12,4%, 3,5% y 2,7% para fenilalanina, leucina, isoleucina y lisina respectivamente; y el grano de sorgo 4,9%, 13,3%, 3,8% y 2,4% para dichos aminoácidos (Domanski et al., 1997).

5.7 DISCUSIÓN GENERAL E IMPLICANCIAS PRÁCTICAS

Al momento de elaborar la dieta de terneros destetados precozmente y alimentados a corral hay dos aspectos fundamentales a tener en cuenta, que son el tipo de grano a utilizar y el nivel de proteína cruda en la dieta.

En nuestro país rige el Plan de Uso y Manejo del Suelo, donde para cumplir con los requisitos del mismo se hace necesario la siembra de cultivos C4 durante algún verano. En este contexto, el grano de sorgo que no tiene salida al exterior aparece como una opción interesante (al compararlo con el maíz debido a sus altos costos y su alta dependencia del clima) para la alimentación animal, surgiendo como una sinergia entre la agricultura y la ganadería.

Ante incrementos en el nivel de proteína cruda (entre 13% y 22%) en dietas a base de sorgo grano se obtuvieron resultados promisorios. La ganancia media diaria y eficiencia de conversión mejoraron a medida que la concentración de proteína cruda en la dieta aumentó, ambas presentaron un comportamiento lineal. En una categoría joven que se encuentra en etapas iniciales de crecimiento, donde el músculo es el principal tejido depositado, los requerimientos de proteína metabolizable son importantes. Esto estaría explicando la mejora en ganancia media diaria a medida que se aumenta el nivel de proteína, ya que la proteína es el principal componente del músculo. Por otro lado, ante mayores niveles de proteína cruda la eficiencia de conversión mejora a causa de mayores ganancias medias diarias y no así de menores consumos de materia seca ya que en esta última variable no se encontraron diferencias cuando se expresó como kg/a/d (aunque cuando se expresa como % de PV tiende a disminuir ante mayores niveles de PC). Esto significa que a niveles superiores de proteína cruda en la dieta, la performance individual es superior, sin embargo, no significa que desde el punto de vista económico realizar el destete precoz a corral con altos niveles proteicos sea lo aconsejable ya que además de la performance animal se debe tener en cuenta el contexto de precios, tanto de la ración como del ternero.

La decisión del nivel de proteína a utilizar dependerá de cual es aquel nivel que genera mayor margen de ganancia (U\$S/kg). Para ello es necesario realizar la siguiente cuenta:

$$EC \times \text{precio de la ración (U$S/kg MS)} = \text{precio del ternero (U$S/kg)}$$

A medida que la concentración de PC de la ración aumenta, el precio de la misma también se incrementa pero como la EC mejora permite aceptar un costo del alimento mayor. A modo de ejemplo los terneros alimentados con una dieta de 22,34% de PC y con una relación concentrado/voluminoso de 80/20 registraron una EC 13% inferior a aquellos que lo hicieron con 14,26% de PC. Esto significa que una ración de 22,34% de PC se puede pagar hasta 13% más cara que una de 14,26%. En el caso que la ración 22,34% PC tenga un valor de 13% mayor que la de 14,26% de PC, el margen obtenido por kg de peso vivo adicional será el mismo, ahora si el costo es menor a ello con la ración alta en PC se obtiene mayor rédito, y lo contrario ocurre si el precio es mayor.

Por otro lado, y no menos importante están los objetivos del productor, es decir, cuál es el peso objetivo de los terneros a la salida del corral. El peso vivo final respondió de manera lineal frente al incremento de PC. Un aspecto importante a tener en cuenta también es que en el mercado de reposición el precio del ternero pesado (200 kg aproximadamente) históricamente ha sido inferior al ternero liviano (150 kg) (ACG, 2015) ya sea destetado precozmente a base pastoril o a los 6 meses de forma convencional.

También está la posibilidad de utilizar grano de maíz en lugar de sorgo. En los últimos años (desde enero del 2007 a la fecha) el maíz ha tenido un precio un 24% mayor al del sorgo (Cámara Mercantil de Productos del País, 2015). La única variable que explica la mejor performance animal que afectó significativamente fue la eficiencia de conversión, explicado principalmente por el menor consumo de materia seca y en menor medida por la mayor ganancia media diaria.

Al momento de comparar la EC para ambos granos, el maíz presentó una EC 15% inferior (3,74 vs 4,42). Si nos basamos en la ecuación anteriormente presentada nos dice que la ración a base de grano de maíz la podemos pagar hasta un 15% más cara que la del grano de sorgo. Por lo tanto, si el grano de sorgo cuesta menos de 15% que el de maíz se recomienda la realización del destete precoz a corral con grano de sorgo, y si ocurre de forma contraria realizarlo con maíz.

6. CONCLUSIONES

Para terneros destetados precozmente, alimentados a corral, consumiendo una RTM a base de sorgo con un rango de PC comprendido entre 13 y 22% no existe un nivel de PC que optimice el crecimiento animal ni la EC. La GMD responde de forma lineal positiva frente a incrementos en el porcentaje de PC de la ración, aumentando en 0,033 kg por cada punto porcentual extra de PC. La EC presenta un comportamiento lineal negativo, donde por cada punto porcentual extra de PC en dieta, son necesarios 0,062 kg menos de alimento para aumentar 1 kg de PV.

Si bien no se encuentran diferencias en GMD cuando se comparan dietas con un mismo nivel de proteína cruda (19%), al incorporar el maíz en lugar de sorgo, se registra una mejora en la EC del orden del 15%, en parte explicado por un menor CMS (%PV).

A medida que se incrementan los niveles de PC en dietas a base de sorgo la concentración de nitrógeno ureico en sangre aumenta en forma lineal 0,02 g/L por cada punto porcentual extra de PC, lo que permite hipotetizar que la excreción de nitrógeno también sería mayor. Asimismo dado un mismo nivel de PC (19%), los terneros alimentados a base de grano de maíz presentan una concentración de nitrógeno ureico en sangre 42% menor que los alimentados a base de sorgo, indicando una mayor eficiencia en el uso de dicho nutriente.

7. RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivos caracterizar la curva de respuesta para ganancia media diaria (GMD) de peso vivo (PV), eficiencia de conversión (EC), consumo de materia seca (CMS) y excreción de nitrógeno frente a niveles crecientes de proteína cruda (PC), en dietas formuladas a base de grano de sorgo suministradas a terneros destetados precozmente y alimentados a corral durante 70 días con una relación concentrado/voluminoso de 80/20. Los niveles de proteína cruda evaluados en la ración totalmente mezclada (RTM) fueron: 14,26%, 16,7%, 18,7% y 22,34%. Como segundo gran objetivo, se evaluó la performance de dos grupos de terneros variando la fuente de almidón (maíz o sorgo) para un nivel fijo de 19% de PC. El experimento se llevó a cabo entre el 21 de enero y 1° de abril de 2015 en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIIC) de la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC), de la Facultad de Agronomía, Paysandú, Uruguay. Se utilizaron 30 terneros machos castrados de raza Hereford con un PV promedio al encierre de $111,3 \pm 40,3$ kg. Las variables de estudio fueron GMD (kg/día), CMS (expresado como kg/a/d y como %PV), EC, PV, altura al anca (AA), relación PV/AA y nitrógeno ureico en sangre (NUS). Se hallaron diferencias significativas en GMD entre tratamientos ante incrementos de PC de la dieta ($P=0,0005$) con una respuesta lineal positiva ($P<0,0001$). El CMS (kg/a/d) no fue afectado por el tratamiento. La EC fue afectada por el tratamiento ($P<0,0001$); la respuesta fue lineal negativa al elevar la PC ($P=0,0015$). En dietas isoproteicas (19% PC), al incluir maíz en lugar de sorgo la GMD no fue afectada, pero si la EC ($P=0,0005$). El CMS no fue afectado cuando se expresó como kg/a/d pero si tendió a disminuir expresado como %PV ($P=0,0637$). El PV a la salida del corral difirió dentro de los tratamientos con dietas a base de sorgo grano ($P=0,0162$), con una respuesta lineal ($P=0,0028$) al incremento de PC en dieta. Dentro de las dietas isoproteicas no hubo diferencias. La AAf fue afectada por el tratamiento ($P=0,0014$), con una respuesta lineal utilizando grano de sorgo ($P=0,0066$) y a su vez tiende a diferir cuando se utilizan distintos granos ($P=0,0551$). La relación PV/AAf no fue afectada por ningún tratamiento. El NUS presentó diferencias significativas ($P<0,0001$) con una respuesta lineal positiva ($P<0,0001$) al aumentar la PC. A su vez disminuyó significativamente ($P<0,0001$) al variar la fuente de energía, incluyendo maíz en lugar de sorgo.

Palabras clave: Niveles de proteína; Terneros; Destete precoz; Confinamiento; Ganancia media diaria; Consumo; Eficiencia de conversión; Fuente de almidón; Eficiencia de uso del nitrógeno.

8. SUMMARY

The current study aims, on the one hand, to characterize the response curve of mean daily gain (MDG), conversion efficiency (CE), dry matter intake (DMI) and nitrogen excretion to increasing levels of crude protein (CP) in diets formulated based on sorghum grain (SG), supplied to early weaned calves under conditions of confinement during 70 days with a concentrate/bulky ratio of 80/20. The CP levels evaluated on the total mixed ration were: 14.26%, 16.7%, 18.7% and 22.34%. A second major objective was to evaluate the performance of two calves groups eating different starch sources (corn grain-CG- or sorghum grain -SG-) with the same CP level (19%). The experiment was carried out between January 21st. and April 1st. of 2015 in the Intensive Meat Production Unit (UPIC) of the Experimental Station Mario A. Cassinoni (EEMAC) in Paysandú, Uruguay. 30 Hereford male castrated calves with an average body weight (BW) of 111.3 ± 40.3 kg were used in the experiment. The study variables were MDG (kg/day), DMI as kg/animal/day (kg/a/d) and as %BW, CE, final BW, croup height (CH), BW/CH ratio and blood urea nitrogen (BUN). Significant differences in MDG were found between treatments when increasing the dietary CP level ($P=0.0005$), with a positive linear response ($P<0.0001$). The DMI as kg/a/d was not affected by the treatment. The CE was affected by the treatment ($P<0.0001$); a negative linear response was founded as the CP level increased ($P=0.0015$). When varying only the starch source (CG or SG), although the MDG was not affected by the treatment, significant differences were found for the CE ($P=0.0005$). The DMI as kg/a/d was not affected by the treatment, but it did tend to vary when measured as %BW ($P=0.0637$). The final BW expressed differences between the different SG based diet treatments ($P=0.0162$) with a linear response against increasing CP levels ($P=0.0028$), but no significant differences were found when comparing isoproteic diets using CG or SG as the starch source. The final CH was affected by the treatment ($P=0.0014$) with a positive linear response ($P=0.0066$) and trend to vary with different grains ($P=0.0551$). The final BW/CH ratio was neither affected by the CP level nor the kind of grain used. The BUN level, used to estimate the use efficiency of nitrogen, expressed significant differences ($P<0.0001$) with a positive linear response ($P<0.0001$) to increasing CP levels. It also had significant differences when CG instead of SG was used as the energy source ($P<0.0001$).

Key words: Protein levels; Calves; Early weaning; Confinement; Mean daily gain; Consumption; Conversion efficiency; Starch source; Nitrogen use efficiency.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. ACG (Asociación de Consignatarios de Ganado, UY). 2015. Mercado de haciendas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 15 dic. 2015. Disponible en http://acg.com.uy/semana_actual.php
2. AFRC (Agricultural and Food Research Council, UK). 1993. Energy and protein requirements of ruminants. Cambridge, CABI. 159 p.
3. ARC (Agricultural Research Council, UK). 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Cambridge, CABI. 351 p.
4. Ainslie, S. J.; Fox, D. G.; Perry, T. C.; Ketchen, D. J.; Barry, M. C. 1993. Predicting amino acid adequacy of diets fed to Holstein steers. *Journal of Animal Science*. 71: 1312–1319.
5. AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 2012. Official methods of analysis. 19th. ed. Gaithersburg, Maryland, George W. Latimer. p. irr.
6. Atasoglu, C. A.; Guliye, Y.; Wallace, R. J. 2004. Use of stable isotopes to measure de novo synthesis and turnover of amino acid-C and -N in mixed microorganisms from the sheep rumen in vitro. *British Journal of Nutrition*. 91: 253-261.
7. Beaty, J. L.; Cochran, R. C.; Lintzenick, B. A.; Vanzant, E. S.; Morrill, J. L.; Brandt, R. T.; Johnson, D. E. 1994. Effect of frequency of supplementation and protein concentration in supplements on performance and digestion characteristics of beef cows consuming low quality forages. *Journal of Animal Science*. 72: 2475–2486.
8. Beever, D. E. 1993. Rumen function. In: Forbes, J. M.; France, J. eds. *Quantitative aspects of ruminal digestion and metabolism*. Wallingford, CAB. pp. 187-215.
9. Berg, R. T.; Butterfield, R. M. 1979. Nuevos conceptos sobre desarrollo de ganado vacuno. Zaragoza, Acríbia. 297 p.
10. Bondi, A. A. 1988. Nutrición animal; metabolismo proteico de los rumiantes. Zaragoza, Acríbia. 546 p.
11. Burroughs, W.; Trenkle, A. H.; Vetter, R. L. 1974. A system of protein evaluation for cattle and sheep involving metabolizable protein

(amino acids) and urea fermentation potential of feedstuffs. *Veterinary Medical. Small Animal Clinic.* 69: 713-722.

12. CMPP (Cámara Mercantil de Productos del País, UY). 2015. Cereales y oleaginosas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 13 may. 2015. Disponible en <http://www.camaramercantil.com.uy/softis/documentos/dl/ceroleag/>
13. Cangiano, C. A. 1997. Producción animal en pastoreo. Balcarce, INTA. 145 p.
14. Clanton, D. C. 1979. Non protein nitrogen in range supplements. *Journal of Animal Science.* 47: 765–779.
15. Cohen, D. C. 2001. Degradability of crude protein from clover herbage used in irrigated dairy production systems in Northern Victoria. *Australian Journal of Agricultural Research.* 52: 415-425.
16. Cooper, R. J.; Milton, C. T.; Klopfenstein, T. J.; Jordon, D. J. 2002. Effect of corn processing on degradable intake protein requirement of finishing cattle. *Journal of Animal Science.* 80: 242.
17. Depetris, G. 2005. Alternativas en los sistemas de invernada tendientes a superar momentos de sequía. Buenos Aires, INTA. 1 p.
18. Di Marco, O. N. 1994. Crecimiento y respuesta animal. Balcarce, Buenos Aires, Asociación Argentina de Producción Animal. 117 p.
19. _____; Aello, M. S. 2002. ¿Afecta el exceso de amonio ruminal el gasto energético de rumiantes?. (en línea). Balcarce, INTA. 6 p. Consultado 20 dic. 2015. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/47-afecta_el_exceso_amonio_ruminal_el_gasto_energetico.pdf
20. Domanski, C.; Giorda, L. M.; Feresin, O. 1997. Composición y calidad del grano de sorgo. (en línea). INTA Manfredi. Cuaderno de actualización no. 7: 47-50. Consultado 22 feb. 2016. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/42-calidad_y_composicion_del_grano_de_sorgo.pdf
21. Fernández, A. 2015. Grano de sorgo vs. grano de maíz. Buenos Aires, INTA. 21 p.

22. Fluharty, F. L.; Loerch, S. C. 1995. Effects of protein concentration and protein source on performance of newly arrived feed lot steers. *Journal of Animal Science*. 73: 1585-1594.
23. _____.; _____.; Turner, T. B.; Moeller, S. J.; Lowe G. D. 2000. Effects of weaning age and diet on growth and carcass characteristics in steers. *Journal of Animal Science*. 78: 1759-1767.
24. Gallardo, M. 2007. Concentrados y subproductos para la alimentación de rumiantes. (en línea). In: Curso Internacional de Lechería para Profesionales de Latino América (21º., 2007, Rafaela). El sector lácteo argentino. Rafaela, INTA. pp. 153-162. Consultado 23 dic. 2015. Disponible en <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema%202.%20Material%20de%20lectura.%20Concentrados%20y%20subproductos.pdf>
25. García Sacristán, A.; Castejón Montijano, F.; de la Cruz Palomino, L. F.; González Gallego, J.; Murillo López de Silanes, M. D.; Salido Ruiz, G. 1995. *Fisiología veterinaria*. Madrid, Mc Graw-Hill Interamericana. 1075 p.
26. Garriz, M.; López, A. 2002. Suplementación con nitrógeno no proteico en rumiantes. Monografía final del curso nutrición en la intensificación. (en línea). Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Veterinaria. Cátedra de Nutrición y Alimentación Animal. pp. 1-24. Consultado 5 jun. 2015. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/07-suplementacion_con_nitrogeno.pdf.
27. Harmond, D. L.; McLeod, K. R. 2001. Glucose uptake and regulation by intestinal tissues; implications and whole-body energetics. *Journal of Animal Science*. 79: E59-E72.
28. Henning, P. H.; Steyin, D. G.; Meissner, H. H. 1993. Effect of synchronization of energy and nitrogen supply on ruminal characteristics and microbial growth. *Journal of Animal Science*. 71: 2516–2528.

29. Herrera Saldana, R. E.; Huber, J. T.; Poore, M. H. 1990a. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *Journal of Dairy Science*. 73: 2386-2393.
30. _____.; Gómez Alarcón, R.; Tobradi, M.; Huber, J. T. 1990b. Influence on synchronizing protein and starch degradation in the rumen of nutrient utilization and microbial protein synthesis. *Journal of Dairy Science*. 73: 142-148.
31. Hill, T. M.; Bateman II, H. G.; Aldrich, J. M.; Scholotterbeck, R. L. 2008. Crude protein for diets fed to weaned dairy calves. *The Professional Animal Scientist*. 24: 596–603.
32. Hollingsworth-Jenkins, K. J. 1994. Escape protein, rumen degradable protein, or energy as the first limiting nutrient of nursing calves grazing Native Sandhills Range. Thesis PhD. Lincoln, Nebraska. University of Nebraska. 125 p.
33. Hoover, W. H.; Stokes, S. R. 1993. Balancing carbohydrates and proteins for optimum microbial yield. *Journal of Dairy Science*. 74: 3630-3644.
34. Huck, G. L.; Kreikemeier, K. K.; Kuhl, G. L.; Eck, T. P.; Bolsen, K. K. 1998. Effects of feeding combinations of steam-flaked grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry rolled corn on growth performance and carcass characteristics in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 76: 2984-2990.
35. Huntington, G. B. 1997. Starch utilization by ruminants; from basics to the bunk. *Journal of Animal Science*. 75: 852-867.
36. _____.; Harmond, D. L.; Richards, C. J. 2006. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *Journal of Animal Science*. 84: E14-E24.
37. Jarrige, R. 1988. Alimentation des bovins, ovins, et caprins. Paris, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). 471 p.
38. Karges, K. K. 1990. Effects of rumen degradable and escape protein on cattle response to supplemental protein on native pasture. Thesis PhD. Lincoln, Nebraska. University of Nebraska. 114 p.

39. Koenig, K. M.; Beauchemin, K. A. 2013. Nitrogen metabolism and route of excretion in beef feedlot cattle fed barley-based finishing diets varying in protein concentration and rumen degradability. *Journal of Animal Science*. 91: 2310-2320.
40. Kotarski, S. F.; Waniska, R. D.; Thurn, K. K. 1992. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *The Journal of Nutrition*. 122(1): 178-190.
41. La Manna, A.; Tieri, M. P.; Banchemo, G.; Mieres, J.; Fernández, E.; Pérez, E. 2011. El nivel de proteína y su posible sustitución por urea en terneros; ¿tiene efecto en la performance inmediata y/o posterior de los animales en su recría?. *Revista INIA*. no. 25: 13-15.
42. Larraín, R. E.; Schaefer, D. M.; Arp, S. C.; Claus, J. R.; Reed, J. D. 2009. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum, or a mix of both; feedlot performance, carcass characteristics, and beef sensory attributes. *Journal of Animal Science*. 87: 2089–2095.
43. Lascano, C. E.; Borel, R.; Quiroz, R.; Zorrilla, J.; Chávez, C.; Wernli, C. 1990. *Nutrición de rumiantes*. San José, IICA-RISPAL. pp. 159-167.
44. McAllister, T. A.; Bae, H. D.; Jones, G. A.; Chung, K. J. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of Animal Science*. 72 (11): 3004-3018.
45. McLeod, K. R.; Ransom, L.; Baldwin, R. L.; El-Kadi, S. W.; Harmon, D. L. 2006. Site of starch digestion; impact on energetic efficiency and glucose metabolism in beef and dairy cattle. In: *Cattle Grain Processing Symposium (2006, Tulsa)*. Proceedings. Oklahoma City, s.e. pp. 129-136.
46. Mac Loughlin, R. J. 2007. Proteína metabolizable y la nutrición de bovinos para carne. (en línea). Buenos Aires, Sitio Argentino de Producción Animal. 4 p. Consultado 12 may. 2015. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/112-proteina_metabolizable.pdf
47. _____; Garriz, C. A. 2009. Composición corporal y de la carcasa en bovinos para carne. 4ª parte; predicción de la masa muscular en la

carcasa. (en línea). Buenos Aires, Sitio Argentino de Producción Animal. 3 p. Consultado 28 jun. 2015. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/108-composicion_corporal_4.pdf

48. Mader, T. L.; Davis, M. S.; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84: 712-719.
49. MDN. DNM (Ministerio de Defensa Nacional. Dirección Nacional de Meteorología, UY). s.f. Estadísticas climatológicas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 may. 2015. Disponible en <http://meteorologia.gub.uy/ServCli/estadisticasClimatologicas>
50. _____.; _____. s.f. Estadísticas pluviométricas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 may. 2015. Disponible en <http://meteorologia.gub.uy/ServCli/estadisticasPluviometricas>
51. Mieres, J. M. 2004. Guía para la alimentación de rumiantes. Montevideo, INIA. 84 p. (Serie Técnica no. 142).
52. Monje, A. 2002. Utilización de grano de sorgo en sistemas de feedlot de terneros. EEA INTA Concepción del Uruguay. Hoja informativa no. 70. 2 p.
53. Morteiro, I.; Young, I. 2014. Evaluación del efecto del nivel de proteína en la dieta de terneros de destete precoz alimentados en confinamiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 77 p.
54. Nahara, F. 2006. Uso de alimentos alternativos en feedlot. (en línea). s.l., Sitio Argentino de Producción Animal. 13 p. Consultado 5 jun. 2015. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/40-alimentos_alternativos.pdf
55. NRC (National Research Council, US). 1985. Ruminant nitrogen usage. Washington, D. C., National Academy Press. 138 p.
56. _____. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. Washington, D. C., National Academy Press. 242 p.

57. _____. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Washington, D. C., National Academy Press. 234 p.
58. Neville, W. E.; Hellwig, R. E.; Ritter, R. J.; McCormick, W. C. 1977. Effect of diet protein level on weight gains of early weaned beef calves. *Journal of Animal Science*. 44(4): 687-693.
59. Ørskov, E. R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*. 63: 1624-1633.
60. Owens, F. N.; Zinn, R. A.; Kim, Y. K. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*. 63: 1634-1648.
61. _____.; Goetsch, A. L. 1993. Fermentación ruminal. In: Church, D. C. ed. *El rumiante, fisiología digestiva y nutrición*. Zaragoza, Acríbia. pp. 159-190.
62. _____.; Secrist, D. S.; Hill, W. J.; Gill, D. R. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle; a review. *Journal of Animal Science*. 75: 868-879.
63. Pascoal, L. L.; Da Costa Eifer, E.; Restle, J. 2000. Nível de proteína bruta para bezerros de corte desmamados aos 66 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 29(5): 1537-1544.
64. Philippeau, C.; Le Deschault de Monredon, F.; Michaelt-Doreau, B. 1999. Relationships between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. *Journal of Animal Science*. 77: 238-243.
65. Pordomingo, A. J.; Juan, N. A.; Azcarte, M. P. 2003. Effect of condensed-tannins addition to a corn-sunflower meal based feedlot diet. *Journal of Animal Science*. 81(1): 215.
66. _____. 2013. *Feedlot; alimentación, diseño y manejo*. Buenos Aires, EEA INTA Anguil. 170 p.
67. Rihani, N.; Garrett, W. N.; Zinn, R. A. 1993. Influence of level of urea, and method of supplementation on characteristics of digestion of high-fiber diets by sheep. *Journal of Animal Science*. 71: 1657-1665.

68. Rooney, L. W.; Pflugfelder, R. L. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science*. 63: 1607-1623.
69. Rush, I. G.; Totusek, R. 1975. Effects of frequency of ingestion of high-urea winter supplements by range cattle. *Journal of Animal Science*. 41: 1141–1146.
70. Russell, J. B.; O'Connor, J. D.; Fox, D. G.; Van Soest, P. J.; Sniffen, C. J. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets; I. Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*. 70: 3551–3561.
71. Satter, L. D.; Roffler, R. R. 1977. Protein requirement and non protein nitrogen utilization. *Tropical Animal Production*. 2 (3): 238-259.
72. Simeone, A.; Beretta, V. 2002. Destete precoz en ganado de carne. Montevideo, Hemisferio Sur. 119 p.
73. _____.;_____. 2011. Alimentación a corral en sistemas ganaderos “¿Cuándo y cómo?”. In: Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne (2011, Paysandú). Memorias. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. pp. 21-25.
74. Sinclair, L. A.; Garsnworthy, P. C.; Newbold, J. R.; Buttery, P. J. 1995. Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with a similar carbohydrate composition on the rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *The Journal of Agricultural Science*. 124: 463-472.
75. SCBCU (Sociedad de Criadores de Braford y Cebú del Uruguay, UY). 2016. Reglamento Sociedad de Criadores de Braford del Uruguay (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 4 ene. 2016. Disponible en <http://braford.org.uy/reglamento-sociedad-criadores-de-braford-del-uruguay>
76. Stiltzer, N. P. 2004. Suplementación de rodeos de cría e invernada en pastoreo en la región del cardenal. Buenos Aires, EEA INTA Anguil. 24 p.
77. Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*. 63: 1649-1959.

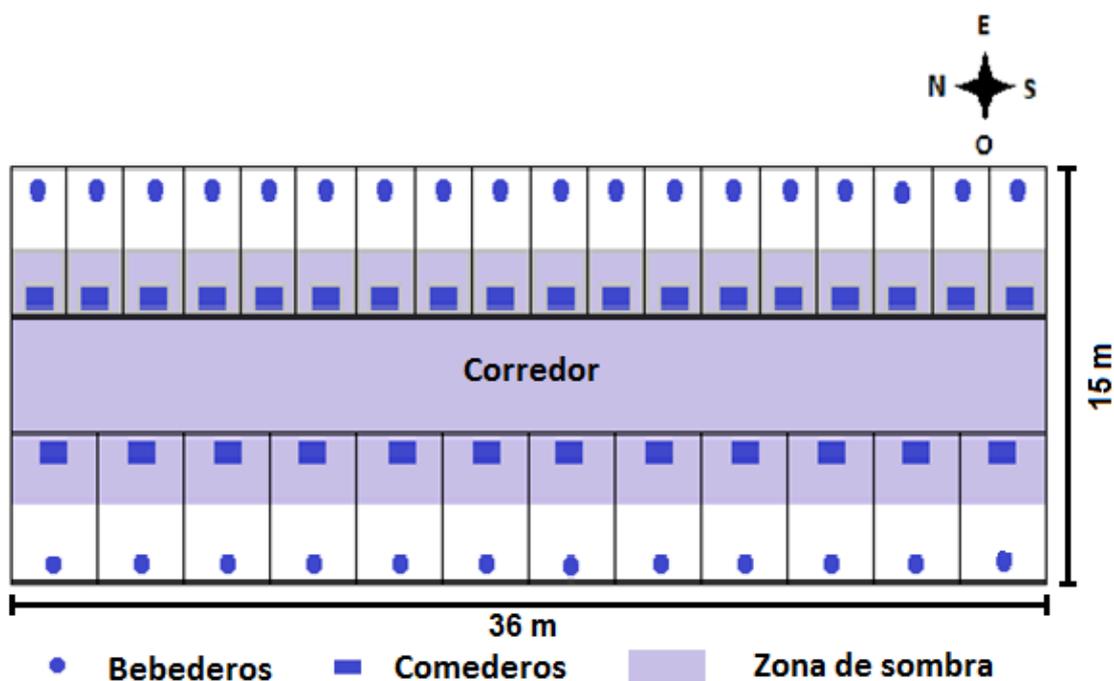
78. Tieri, M. P.; La Manna, A.; Fernández, E.; Mieres, J.; Schroer, F.; Pérez, E.; Baldi, F.; Banchemo, G. 2011a. Efecto de diferentes niveles de proteína y sustitución de proteína verdadera por nitrógeno no proteico (urea) en la performance y desarrollo de terneros cruza Hereford x Angus y su impacto posterior en la recría. (en línea). Montevideo, INIA. pp. 23-26 (Documento Online no. 137). Consultado 3 jun. 2015. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/112761230511114049.pdf>
79. _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____. 2011b. Efectos de tres niveles de proteína y sustitución de proteína verdadera por nitrógeno no proteico (urea) en la performance y desarrollo de terneros cruza Hereford x Angus en dietas isoenergéticas. Ensayo en jaulas metabólicas. (en línea). Montevideo, INIA. pp. 27-28 (Documento Online no. 137). Consultado 1 jun. 2015. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/112761230511114049.pdf>
80. Trujillo, A. I.; Carriquiry, M.; Marichal, M. de J.; Bauzá, R.; González, A. 2006. Curso teórico- práctico. Montevideo, Facultad de Agronomía. 58 p.
81. Valadares, R. F. D.; Goncalves, L. C.; Rodrigues, N. M. 1997. Níveis de proteína em dietas de bovinos. 1. Consumo e digestibilidades aparentes totais e parciais. Revista Brasileira de Zootecnia. 26(6): 1252-1258.
82. Valtorta, S. E.; Gallardo, M. R. 1996. El estrés por calor en producción lechera. Buenos Aires, EEA INTA Rafaela. pp. 173-185 (Miscelánea no. 81).
83. Van Lier, E.; Regueiro, M. 2008. Digestión en retículo-rumen. Montevideo, Facultad de Agronomía. 28 p.
84. Van Soest, P. J.; Robertson, J. V.; Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. 74(5): 3583-3597.
85. Veira, D. M.; Macleod, G. K.; Burton, J. H.; Stone, J. B. 1980. Nutrition of the weaned Holstein calf. II. Effect of dietary protein level on

nitrogen balance, digestibility and feed intake. *Journal of Animal Science*. 50: 945-951.

86. Wilkerson, V. A.; Klofestein, T. J.; Britton, R. A.; Stock, R. A.; Miller, P. S. 1993. Metabolizable protein and amino acid requirements of growing beef cattle. *Journal of Animal Science*. 71: 2777–2784.
87. Zinn, R. A.; Shen, Y. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *Journal of Animal Science*. 76: 1280–1289.

10. ANEXOS

Anexo 1. Croquis del sitio experimental.



Anexo 2. Temperatura media (T media), máxima (T máx.) y mínima (T mín.), precipitaciones (PP), humedad relativa (HR) e índice de temperatura humedad (ITH) del 21 al 31 de enero.

Día	T media	T máx.	T mín.	PP	HR	ITH
21	21,9	27,7	15,8	0	71	69
22	22,3	28,6	16,6	0	66	70
23	23,4	30,1	16,9	0	72	72
24	25,7	32,2	19,9	0	74	75
25	27,1	33,8	20,9	0	71	77
26	27,9	35,2	21,4	0	71	78
27	28,9	35,1	22,8	0	70	80
28	22,2	26,9	18,1	33,5	89	71
29	20,6	27	15,4	0,3	68	67
30	19,4	26,5	11,8	0	61	65
31	22,3	29,3	15,9	0	62	69

Anexo 3. Temperatura media (T media), máxima (T máx.) y mínima (T mín.), precipitaciones (PP), humedad relativa (HR) e índice de temperatura humedad (ITH) para febrero.

Día	T media	T máx.	T mín.	PP	HR	ITH
1	24,6	30,9	18,9	0	70	73
2	25,3	31,8	19,9	0	71	74
3	25,6	29,8	21,3	0	76	75
4	26,3	32,3	21,7	0	74	76
5	26,9	33,2	21,4	0	76	77
6	26,1	32,4	20,5	0	70	76
7	25,4	32,4	17,6	0	68	74
8	24,8	33,1	18,7	0	70	74
9	25,2	32,5	18,7	0,3	71	74
10	21,9	25,8	18,6	8,1	78	70
11	24,4	30,7	18,2	0	61	72
12	24,7	32,4	16,7	0	67	73
13	22,4	28,5	15,7	0	61	69
14	22,9	30,6	15,8	0	66	70
15	23,8	30,6	16,7	0	62	71
16	25,1	31,2	20	0	61	73
17	25,5	32,2	19,1	0	62	74
18	23,7	32	19,6	30	78	73
19	19,8	22,4	17,3	2,8	87	67
20	19,2	25,4	13,3	0	63	65
21	20,3	27,5	13,7	0,3	68	67
22	24,8	31,9	17	0	70	74
23	26,7	33,9	19,8	0	72	77
24	26,9	34,1	20,8	0	72	77
25	22,6	25,9	20,6	19	95	72
26	21,9	24,8	19,8	0,8	87	71
27	23,8	29,3	19,3	0,3	72	72
28	21,1	29,7	12,2	0	68	68

Anexo 4. Temperatura media (T media), máxima (T máx.) y mínima (T mín.), precipitaciones (PP), humedad relativa (HR) e índice de temperatura humedad (ITH) para marzo.

Día	T media	T máx.	T mín.	PP	HR	ITH
1	22,8	30,8	18,7	8,4	72	71
2	24,3	31,3	18	0,3	80	74
3	22,9	25,4	21,1	38,9	88	72
4	22,6	26,8	20,1	0	85	72
5	23,9	29,9	19,2	0	77	73
6	24,1	30,8	18,5	0	65	72
7	24,2	31	18,4	0	65	72
8	23,8	31,6	17,9	0	63	71
9	25,1	31,8	17,7	0	73	74
10	26,4	31,8	21,7	0	74	76
11	24,8	30,9	18,7	0	69	73
12	24,7	31,7	18,3	0	68	73
13	24,6	31,9	16,3	0	67	73
14	24,5	31,8	17,3	0	66	73
15	24,4	30,9	18,3	0	68	73
16	26,6	34,1	19,2	0	70	76
17	26,6	33,6	20,2	0	64	76
18	24,4	31,9	17,7	0	60	72
19	25,2	32,3	18,3	0	68	74
20	24,6	30,7	20,2	0	75	74
21	17,9	22,6	11,9	0	56	63
22	16,2	22,9	9,1	0	64	61
23	17,7	25,2	10,6	0	65	63
24	17,5	23	12,3	0	65	62
25	16,8	18,6	15,5	0,3	81	62
26	17	23	13,7	0,3	76	62
27	16,4	24,8	7,9	0	64	61
28	19,1	27,7	11,3	0	66	65
29	21,3	28,5	14,4	0	79	69
30	21,7	29,6	14,6	0	66	69
31	19,8	26,7	16	0	61	66

Anexo 5. Análisis químico de los concentrados experimentales y del voluminoso.

Componente	MS%	C%	PC%	aFDNmo%	FDAmo%
M19	90,3	6,23	20,31	20,23	8,54
S13	91,1	6,3	14,83	21,35	11,76
S16	91,2	5,69	17,89	22,55	12,99
S19	92,1	7,95	20,39	16,29	8,44
S22	92,7	7,95	24,94	23,1	12,81
Heno de alfalfa	89,7	6,86	11,96	65	49,98

MS: Materia seca, C: Cenizas, PC: Proteína cruda, aFDNmo: Fibra detergente neutro de la materia orgánica, FDAmo: Fibra detergente ácido de la materia orgánica.

Anexo 6. Fuente de variación para peso vivo inicial.

Fuente	DF	Tipo IV SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
TRAT	4	677,36133	169,34033	0,39	0,8138

Anexo 7. Fuentes de variación para peso vivo final.

Fuente	DF	Tipo IV SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
TRAT	4	896,37405	224,09351	3,81	0,0162
PVINI	1	18783,56427	18783,56427	319	<,0001

Anexo 8. Fuentes de variación para altura al anca.

Fuente	DF	Tipo IV SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
TRAT	4	103,69951	25,92488	6,31000	0,0014
ALTINI	1	344,02036	344,02036	83,78000	<,0001

Anexo 9. Fuentes de variación para peso vivo - altura al anca.

Fuente	DF	Tipo IV SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
TRAT	4	0,02533	0,00633	1,16	0,356
PALT1	1	1,01818	1,01818	185,72	<0,0001

Anexo 10. Fuentes de variación para consumo de materia seca en kg por animal por día.

Efecto	NUM DF	DEN DF	F-valor	Pr>F
TRAT	4	25	1,04	0,4043
SEMANA	9	1967	517,54	<0,0001
TRAT*SEMANA	36	1967	6,55	<0,0001
DIA_DENTROSEM	6	1967	13,89	<0,0001
TRAT*DIA_DENTROSEM	24	1967	0,86	0,6555

Anexo 11. Fuentes de variación para consumo de materia seca en porcentaje de peso vivo.

Efecto	NUM DF	DEN DF	F-valor	Pr>F
TRAT	4	24,9	2,13	0,1064
SEMANA	9	1967	16,99	<0,0001
TRAT*SEMANA	36	1967	6,51	<0,0001
DIA_DENTROSEM	6	1967	1,84	0,088
TRAT*DIA_DENTROSEM	24	1967	0,87	0,6447

Anexo 12. Fuentes de variación para consumo de proteína cruda en kilogramos por animal por día.

Efecto	NUM DF	DEN DF	F-valor	Pr>F
TRAT	4	25	10,29	<0,0001
SEMANA	9	1963	774,12	<0,0001
TRAT*SEMANA	36	1963	20,78	<0,0001
DIA_DENTROSEM	6	1963	17,51	<0,0001
TRAT*DIA_DENTROSEM	24	1963	0,85	0,6722

Anexo 13. Fuentes de variación para consumo de fibra detergente neutro.

Efecto	NUM DF	DEN DF	F-valor	Pr>F
TRAT	4	25	1,08	0,389
SEMANA	9	1956	125,75	<0,0001
TRAT*SEMANA	36	1956	4,72	<0,0001
DIA_DENTROSEM	6	1956	5,74	<0,0001
TRAT*DIA_DENTROSEM	24	1956	1,04	0,4111

Anexo 14. Fuentes de variación para ganancia media diaria.

Efecto	NUM DF	DEN DF	F-valor	Pr>F
TRAT	4	24	0,17	0,9502
DIAS	1	143	3984,37	<0,0001
DIAS*TRAT	4	143	5,3	0,0005
PVINI	1	24	748,27	<0,0001

Anexo 15. Fuentes de variación para eficiencia de conversión.

Fuente	DF	Tipo IV SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
TRAT	4	4,13446	1,03361	11,81	<0,0001
PVINI	1	2,28039	2,28039	26,07	<0,0001

Anexo 16. Fuentes de variación para digestibilidad de materia seca, materia orgánica, proteína cruda y fibra detergente neutro.

Variable	Fuente	DF	Tipo IV SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
DMS	TRAT	4	97,29278	24,32319	0,93	0,4609
DMO	TRAT	4	152,93325	38,23331	1,89	0,1430
DPC	TRAT	4	353,00098	88,25024	3,94	0,0129
DFDN	TRAT	4	619,64503	154,91125	0,89	0,4882

Anexo 17. Fuente de variación para concentración de nitrógeno ureico en sangre.

Fuente	DF	Tipo IV SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
TRAT	4	0,14011	0,03502	45,06	<0,0001

Anexo 18. Regresión lineal, cuadrática y contrastes para nitrógeno ureico en sangre.

Contraste	DF	Contraste SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NS LIN	1	0,10502083	0,10502083	135,1	<0,0001
NS CUA	1	0,0084375	0,0084375	10,85	0,0029
M19 vs S19	1	0,04200833	0,04200833	54,04	<0,0001