

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRARIAS

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACION PROTEICA SOBRE LA TASA DE
CRECIMIENTO Y PARAMETROS DIGESTIVOS DE NOVILLOS A
PASTOREO SOBRE SORGO GRANIFERO DIFERIDO

SEBASTIAN LAGRANGE

BAHIA BLANCA
ARGENTINA

2009

	Página
Prefacio	5
Agradecimientos	6
Lista de Fotos	7
Lista de Tablas	8
Lista de Figuras	10
Resumen	11
Abstract	15
1. Revisión Bibliográfica	19
1.1 Introducción	19
1.2 La planta de sorgo granífero.....	21
1.2.1 Aspectos fisiológicos relacionados al uso del agua.....	21
1.2.2 Efecto de la temperatura y ciclo de crecimiento.....	22
1.3 Características del grano de sorgo.....	23
1.3.1 Efecto del contenido de taninos condensados.....	26
1.4 Valor nutritivo del forraje.....	27
1.5 Digestión de carbohidratos y generación de productos de fermentación..	29
1.6 Efecto de la concentración de amoníaco ruminal sobre el crecimiento microbiano y la digestión de la fracción fibrosa.....	31
1.7 Particularidades de la Harina de Girasol.....	34
1.8 Grano de soja.....	37
2. Hipótesis	42
3. Objetivo	42
4. Materiales y Métodos	43
4.1. Características del área de estudio.....	43
4.1.1 Ubicación.....	43
4.1.2. Clima.....	43
	44

4.1.3. Suelo.....	44
4.2 Implantación del cultivo.....	45
4.3 ENSAYO I. Respuesta productiva.....	45
4.3.1 Animales y Tratamientos.....	49
4.3.2 Determinaciones.....	49
Disponibilidad de MS y composición química del SGD.....	50
Consumo voluntario y eficiencia de conversión alimenticia.....	50
Evolución de peso vivo.....	51
Digestibilidad de la dieta.....	52
Proporción de grano entero de sorgo en heces.....	52
Parámetros Sanguíneos.....	53
4.3.3 Análisis estadístico.....	53
4.4 ENSAYO II. Parámetros Ruminales.....	53
4.4.1 Animales y tratamientos.....	55
4.4.2 Determinaciones.....	55
pH y Nitrógeno amoniacal.....	55
Ácidos grasos volátiles.....	55
4.4.3 Análisis estadístico.....	
	57
5. Resultados.....	57
5.1 ENSAYO I. Respuesta productiva.....	57
5.1.1 Disponibilidad de MS y composición fraccional del SGD.....	57
5.1.2 Composición química de los componentes de la dieta.....	59
5.1.3 Respuesta a los tratamientos experimentales.....	
Consumo voluntario, evolución del peso vivo y eficiencia de	59
conversión alimenticia.....	63
Digestibilidad de la dieta.....	64
Parámetros Sanguíneos.....	66
5.2 ENSAYO II. Parámetros ruminales.....	66
5.2.1 Nitrógeno amoniacal.....	
	67
5.2.2 pH y Ácidos Grasos Volátiles.....	71
6. Discusión.....	71

6.1 ENSAYO I. Respuesta productiva.....	71
6.1.1 Disponibilidad de MS y composición fraccional del SGD.....	71
6.1.2 Composición química de los componentes de la dieta.....	73
6.1.3 Respuesta a los tratamientos experimentales.....	
Consumo voluntario, evolución del peso vivo y eficiencia de conversión alimenticia.....	73
Digestibilidad de la dieta.....	77
Parámetros Sanguíneos.....	80
6.2 ENSAYO II. Parámetros ruminales.....	80
6.2.1 Nitrógeno amoniacal.....	82
6.2.2 pH y Ácidos Grasos Volátiles.....	85
7. Conclusiones.....	86
8. Bibliografía.....	87

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magíster en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta universidad u otras. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Campo Experimental de la Estación Agropecuaria INTA Bordenave durante el período comprendido entre marzo de 2007 y Febrero de 2009, bajo la dirección del Dr. Hugo Arelovich, Profesor Titular de la cátedra de Nutrición Animal.

Ing. Agr. Sebastián Lagrange



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el/....../..... , mercedo la calificación de(.....)

Agradecimientos

Deseo agradecer profundamente a quienes me apoyaron durante el desarrollo de esta tesis. En primer lugar a Hugo Arelovich, mi director de tesis, y a Daniel Larrea por el apoyo brindado durante la elaboración de la misma. A las autoridades del Departamento de Agronomía (UNS) por otorgarme la posibilidad de realizar mis estudios de posgrado. A las autoridades de la Estación Experimental INTA Bordenave por permitirme continuar con mi formación de posgrado. A mis compañeros de esta Estación Experimental, especialmente los señores Miguel Dupouy y Luis Schoenfeld por su ayuda en el arduo trabajo con los animales. Y finalmente, a mi esposa Andrea por el acompañamiento incondicional y a mi hija Lucía por darme la fuerza para ser constante.

	Página
Foto 1: Vista del lote de sorgo granífero diferido.....	46
Foto 2: Vista de los corrales individuales en donde los novillos fueron encerrados diariamente mientras consumían el suplemento correspondiente.....	46
Foto 3: Imagen de un animal correspondiente al tratamiento GS, consumiendo la ración diaria de grano de soja crudo y entero.....	47
Foto 4: Imagen de un animal correspondiente al tratamiento HG, consumiendo la ración diaria de harina de girasol.....	47

		Página
Tabla 1:	Precipitaciones y heladas durante el ciclo de crecimiento del cultivo de sorgo granífero.....	43
Tabla 2:	Temperatura mínima, media, máxima, humedad relativa precipitaciones durante los meses de estudio.....	44
Tabla 3:	Disponibilidad de MS y composición proporcional de las diferentes fracciones del cultivo de sorgo granífero diferido.....	57
Tabla 4:	Composición química porcentual de las fracciones de la planta de SGD.....	58
Tabla 5:	Composición química porcentual de los concentrados proteicos utilizados.....	59
Tabla 6:	Consumo de sorgo diferido de novillos alimentados con SGD y distintas fuentes de suplementación proteica.....	59
Tabla 7:	Composición proporcional de diferentes fracciones del rechazo de SGD.....	60
Tabla 8:	Consumo voluntario de MS de cada una de las fracciones del SGD.....	61
Tabla 9:	Consumo de PB, FDN, FDA y LDA a partir del sorgo granífero diferido.....	61
Tabla 10:	Evolución de peso vivo y eficiencia de conversión alimenticia de novillos que consumen SGD con o sin suplementación proteica.....	62

	Digestibilidad de la MS y proporción de grano de sorgo en heces de novillos alimentados con sorgo diferido y distintas fuentes de suplementación proteica.....	64
Tabla 11:		
	Composición química del suero sanguíneo de novillos consumiendo SGD con o sin suplementación proteica.....	65
Tabla 12:		
	Valores de referencia de parámetros sanguíneos.....	65
Tabla 13:		
	Efecto de la dieta sobre la concentración de N-NH ₃ en fluido ruminal para cada horario de muestreo.....	66
Tabla 14:		
	Concentración de ácidos grasos volátiles en fluido ruminal de novillos suplementados con grano de soja y harina de girasol.....	68
Tabla 15:		
	pH y concentración de ácidos grasos volátiles en fluido ruminal en función del tiempo transcurrido desde el suministro del alimento.....	69
Tabla 16:		
	Proporciones molares de ácidos grasos volátiles en fluido ruminal de novillos suplementados con grano de soja y harina de girasol.....	69
Tabla 17:		
	Proporciones molares de ácidos grasos volátiles en función del tiempo transcurrido desde el suministro del alimento.....	70
Tabla 18:		

	Página
Figura 1: Eficiencia de conversión alimenticia y ganancia diaria de peso de novillos alimentados con SGD y distintas fuentes de suplementación proteica.....	63
Figura 2: Relación entre la concentración N-NH ₃ en rumen y el tiempo transcurrido desde el suministro del suplemento para cada tratamiento experimental.....	66

El sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es habitualmente utilizado como diferido por el ganado bovino en la región sudoeste de la Pcia. de Bs. As. De esta manera es posible minimizar el déficit de forraje que se presenta frecuentemente durante el período invernal debido a limitantes de temperatura y humedad. Este cultivo presenta una gran adaptabilidad a las condiciones climáticas de la región, desarrollando altas tasas de crecimiento durante la época estival, dando la posibilidad de transferir un gran volumen de forraje en pie para ser utilizado en la época invernal. El sorgo granífero diferido (SGD) se caracteriza por tener valores de proteína bruta que se consideran limitantes para el óptimo crecimiento de novillos a pastoreo. La suplementación nitrogenada puede subsanar esta carencia, mejorando la utilización de este forraje.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de proteína suplementaria sobre el consumo voluntario, la tasa de crecimiento, y parámetros de digestión y metabolismo ruminal en novillos que pastorean SGD. El sorgo granífero SG 9538 fue sembrado el 22/11/2005 y la totalidad de la biomasa producida durante el ciclo de crecimiento, incluido el grano, fue diferida hacia el otoño para ser utilizada por los animales a partir del mes de junio de 2006. Se utilizaron doce novillitos Aberdeen Angus de 224 ± 8 Kg de peso, que fueron asignados al azar a tres tratamientos durante 100 días. Los tratamientos fueron: Control (CON) = pastoreo de sorgo granífero diferido sin restricción, (GS) = SGD sin restricción + 1,257 Kg MS/d de grano de soja entero y (HG) = SGD sin restricción + 1,353 Kg MS/d de harina de girasol. Ambos suplementos fueron calculados de manera de cubrir el desbalance de proteína degradable en el rumen (- 203 g/d) que se genera en el animal al suministrarle la dieta de sorgo granífero diferido. La cantidad de proteína bruta que proporcionan ambos

suplementos es de 0,450 kg/día, lo que equivale al 70% de los requerimientos diarios de proteína total de un novillo de 250 kg PV que gana 700 gr/d (NRC, 2000).

El sistema de pastoreo del SGD fue frontal con cambios diarios, mediante el empleo de alambre eléctrico. Si bien los animales de todos los tratamientos pastorearon en forma conjunta, los suplementos fueron suministrados en comederos individuales diariamente a las 9:00 h.

La composición química del sorgo granífero diferido fue de 71,6; 62,4; 33,0; 3,2 y 7,2%, para materia seca (MS), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA) y proteína bruta (PB), respectivamente. La disponibilidad del cultivo diferido de sorgo granífero fue de 7775,0 kg MS/ha. Los suplementos proteicos presentaron valores de PB de 32,3 y 35,6% para la harina de girasol y el grano de soja, respectivamente. El consumo voluntario de materia seca (CVMS) de sorgo diferido disminuyó ($p < 0,01$) en los animales que fueron suplementados con grano de soja con respecto al control, pasando de 5,1 a 4,6 kg MS/d, observándose un efecto de sustitución del forraje por grano de soja de 0,4 kg de forraje por cada Kg de suplemento suministrado, mientras que los animales suplementados con harina de girasol se mantuvieron con el mismo consumo de sorgo que el grupo control. De esta forma, el consumo total de HG y GS, superó significativamente ($p < 0,01$) al consumo total de CON, con valores de 6,3; 5,9 y 5,1 kg MS/d, respectivamente.

Las ganancias de peso vivo (GDP) fueron mayores ($p < 0,01$) en ambos tratamientos suplementados con respecto a CON, no encontrándose diferencias significativas entre ellos. El tratamiento CON ganó 300 g/d, mientras que en los tratamientos HG y GS se determinaron ganancias de 625 y 700 g/d, respectivamente. El peso final de los animales que recibieron suplementación proteica fue 38 y 41 kg superior al control, luego de 100 días de ensayo, para los tratamientos HG y GS,

respectivamente. GS fue más eficiente ($p < 0,01$) para convertir alimento en peso vivo que HG y ambos superaron a su vez al grupo control sin suplementar. El grupo control registro una eficiencia de conversión alimenticia (ECA) equivalente a 17,1 mientras que para HG y GS fue de 9,9 y 8,3, respectivamente.

Los parámetros sanguíneos analizados mostraron diferencias ($p < 0,01$) entre el testigo y los tratamientos suplementados en proteína total (6,27, 6,56 y 6,57 g/dl); Urea (11,67, 25,17 y 28,67 mg/dl) y P (6,48, 7,86 y 7,14 mg/dl) para CON, HG y GS, respectivamente.

La digestibilidad de la dieta presenta diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre los tratamientos, siendo mayor en los grupos GS y HG con relación al grupo control, 62,5 y 59,8 vs 53,3%. El consumo de materia seca digestible fue significativamente mayor con el agregado de proteína a la dieta ($p < 0,01$), superando al control en un 41 y 37% para el tratamiento HG y GS. No se han hallado diferencias significativas ($p > 0,19$) entre los distintos tratamientos en lo que respecta a la proporción de grano de sorgo recuperado en heces. A pesar de esto se observa una tendencia a pasar una mayor proporción de grano entero hacia las heces con el agregado de proteína a la dieta. La proporción media de grano que transitó por el tracto sin degradar fue del 27% aproximadamente.

Para realizar las evaluaciones de ambiente ruminal se utilizaron 3 novillos fistulados Aberdeen Angus de 550 kg de peso los cuales recibieron los mismos tratamientos que en el ensayo de respuesta productiva, en un diseño de cuadrado latino con tres tratamientos y tres períodos de evaluación. La concentración de $N-NH_3$ se duplico en aquellos animales suplementados con grano de soja y se cuadruplico en los que recibieron harina de girasol luego de que transcurrieran 2 horas desde la entrega del alimento. Luego del pico de concentración de $N-NH_3$, 11,64 y 22,65 mg/dl para GS y

HG, respectivamente, los valores comienzan a disminuir paulatinamente a medida que transcurre el tiempo, hasta el punto en que no se observan diferencias significativas entre las distintas dietas más allá de las 6 horas. La concentración de N-NH₃ más baja fue observada alrededor de las 24 h, inmediatamente antes de la nueva comida.

La concentración de AGV total aumentó ($p < 0,05$) en el orden del 30% con el agregado a la dieta de harina de girasol, mientras que en la dieta con grano de soja si bien el nivel fue superior al control, no alcanzó para detectar diferencias significativas. La proporción relativa de ácido propiónico tendió a aumentar ($p = 0,08$) en las dietas con suplementación proteica y, en consecuencia, se observa una tendencia a disminuir ($p = 0,10$) la proporción de ácido acético. En ningún caso estas diferencias llegaron a ser significativas.

En conclusión, la suplementación con proteína de alta degradabilidad ruminal, como es el caso del grano de soja entero o la harina de girasol, mejora la eficiencia de utilización de la dieta, el consumo total de materia seca y, en consecuencia, incrementa la respuesta productiva, cuando es suministrada a novillos que pastorean sorgo granífero diferido. Mayores concentraciones de N-NH₃ y AGV totales, además de una tendencia a aumentar la relación A:P, demuestran el efecto beneficioso del grano de soja y la harina de girasol sobre la eficiencia de utilización de la dieta. No se diferenciaron la harina de girasol del grano de soja en la suplementación de sorgo granífero diferido, y se presentan como alternativas a ser consideradas en programas de alimentación bovina para el sudoeste bonaerense.

Grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is usually used as deferred forage for beef cattle at the southwestern Buenos Aires province. Thus, the impact of forage deficit frequently occurring during winter because of limiting weather conditions can be minimized. This crop is highly adapted to the climatic conditions of the area with high summer growing rates; which make it possible to transfer large amounts of forage to the winter time.

The CP content of deferred sorghum grain (SGD) is limiting for optimum growth of steers grazing this pasture. Protein supplementation could improve its utilization. The objective of this study was to evaluate the effects of supplementary protein addition upon voluntary intake of SGD, animal growth rate, digestive and ruminal parameters of steers grazing on SGD.

The grain sorghum SG 9538 was seeded on 22/11/2005, and the total biomass yielded during the plant growth cycle, including the grain, was deferred to fall to be grazed from June 2006. Twelve Aberdeen Angus steers (224 ± 8 kg BW) were randomly assigned to three treatments for 100 d. Treatments were: Control (CON) = SGD without restriction to grazing, (GS) = SGD without restriction to grazing + 1,257 kg DM daily of whole soybean grain and (HG) = SGD without restriction to grazing + 1,353 kg DM daily of sunflower meal. Both supplements were designed to provide 450 g of CP, which is equivalent to 50% of daily protein requirements of the animals included in the study.

The grazing system was in strip grazing by means of electric fencing with daily changes of the paddock. Although all treatments grazed jointly the same paddock, supplements were offered in individual feeders at 0900 daily.

The chemical composition of SGD was 71,6; 62,4; 33,0; 3,2 and 7,2 %, for DM, NDF, ADF, ADL and CP respectively. Mean forage availability of SGD was 7775,0 kg DM/ha. Protein supplements were 32,3 and 35,6% of CP on a DM basis for sunflower meal and soybean grain respectively. The DM intake of SGD decreased ($p<0,01$) in animals receiving GS compared to CON, from 5,1 to 4,6 kg DM daily; with a substitution of 0,4 kg of forage for each kg of supplement fed. While animals supplemented with HG exhibited a forage intake similar to CON. However, total dietary DM intake in HG and GS were higher than CON ($p<0,01$), with values of 6,3; 5,9 and 5,1 kg DM per day for HG, GS and CON respectively.

Daily weight gains (GDP) increased ($p<0,01$) with both supplemented treatments compared to CON, however no differences were detected between themselves. An average of 300 g/d was exhibited by the control group, while treatments HG and GS showed GDP's of 625 and 700 g/d respectively. Obviously, these improved gains in the supplemental treatments affected the final liveweights where animals in treatments HG and GS were 38 and 41 kg respectively heavier than CON after 100 d of trial. Additionally, the treatment GS resulted more efficient ($p<0,01$) in feed to gain ratio than HG, but both HG and GS overcome CON. Thus the feed to gain ratio resulted 17,1 for CON vs 9,9 and 8,3 for HG and GS respectively.

There were differences in blood parameters between the control group and the supplemented treatments in the contents of: total protein (6,27, 6,56 and 6,57 g/dl); urea (11,67, 25,17 and 28,67 mg/dl) and P (6,48, 7,86 and 7,14 mg/dl) for CON, HG and GS respectively.

As far as diet digestibility concerns, the observed results have shown highly significant differences ($p<0,01$) among treatments, being highest for GS (62,5 %) and HG (59,8 %) vs CON (53,3 %). These results influenced the consumption of total

digestible DM, which was higher with addition of protein to the diet ($p < 0,01$), being 41 and 37% for HG and GS better than CON.

No differences among the experimental treatments were found for the amount of whole sorghum grain coming from SGD which was recovered in feces ($p > 0,19$). However, there was a marked trend to recover more whole grain in the treatments receiving protein supplementation. Anyhow, the mean proportion of grain passing through the digestive tract without apparent degradation was 27% of the total grain estimated to be consumed.

To determine ruminal parameters, three ruminally cannulated Aberdeen Angus steers (550 kg BW) were used. They received the same treatments described for the first experiment in a latin square design (3 treatments and three periods). The $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration increased more than 2 times in those animals supplemented with soybean grain and more than 4 times in those receiving sunflower meal as protein supplements after 2 h since the supplements were fed. After a peak was reached there was a progressive decrease in the ruminal $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration with time. The decrease was so sharp that no significant differences were observed after 6 h. The lowest $\text{NH}_3\text{-N}$ levels were observed at 24 h, immediately before the supplement was fed again.

The total VFA concentration increased ($p < 0,05$) 30% with the addition of sunflower meal. Although the total VFA was also numerically larger than CON the differences were not significant. It was observed a non significant trend to enhance the relationship propionate to acetate with protein supplementation.

In conclusion, highly degradable protein supplementation as in HG and GS when fed to steers grazing SGD improved productivity parameters such efficiency of diet utilization and voluntary consumption of digestible nutrients. Higher concentration of $\text{NH}_3\text{-N}$ and total VFA's proved the benefit of feeding either soybean grain or

sunflower meal. No meaningful differences between supplementation strategies were found for productivity, and both feeding programs can be considered as alternative to supplement SGD in southwestern Buenos Aires Province.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Introducción.

El cultivo de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) está creciendo en los planteos agrícolas y ganaderos de las diferentes zonas marginales de nuestro país, debido a una mejora sustancial en el precio del grano, y una mayor estabilidad en los rendimientos en comparación con otros cultivos estivales. El incremento en la superficie sembrada en la campaña 2006/07 con respecto a la anterior fue del 21,3% (SAGPyA, 2007).

Si bien este cultivo se utiliza para cosecha, puede ser también destinado como diferido para el ganado bovino en la época invernal. De esta manera, sería posible minimizar el déficit de forraje que se presenta durante este período en la región del sudoeste bonaerense.

Los híbridos graníferos producen una importante cantidad de biomasa total, con valores que van desde los 4000 hasta los 9000 kg MS/ha según genotipos, en la región semiárida pampeana (Bolletta y Vallati, 2008). Este gran volumen de forraje permite mantener una alta carga animal durante el período invernal, en el que la producción de forraje se ve limitada principalmente por condiciones de temperatura y humedad.

Desde hace tiempo, los sorgos se han utilizado en forma diferida como forraje para el ganado bovino. Las variedades que se han empleado habitualmente con este destino han sido forrajeras azucaradas, las cuales ofrecen una gran producción de materia seca por unidad de superficie, pero que en muchos casos no logra ser aprovechada de manera eficiente por parte del animal.

Los híbridos graníferos cuando son utilizados en forma diferida, presentan una serie de ventajas con respecto a los forrajeros, que tienden a mejorar su aprovechamiento. En este sentido, los híbridos graníferos poseen una mayor relación

grano/planta entera que los híbridos forrajeros, 33,2 vs 18,7%, respectivamente, con similar producción total de materia seca, 6849 vs 6251 kg MS/ha en promedio para los distintos híbridos (Bolletta y Vallati, 2008). Esto se traduce en mayor rendimiento de grano por unidad de superficie cultivada en los sorgos graníferos con respecto a los forrajeros.

El hecho de que la planta de sorgo granífero en estado de madurez avanzada cuente con una mayor proporción de grano, mejora la calidad nutritiva de la dieta con respecto a los materiales forrajeros, debido a un mayor aporte de nutrientes rápidamente degradables a nivel ruminal y menor contenido de fibra en el grano de sorgo con respecto al resto de las partes de la planta (tallos y hojas).

Otra ventaja adicional de diferir híbridos de sorgo granífero es la mayor resistencia al vuelco que poseen estos materiales con respecto a los sorgos forrajeros por ser plantas más bajas que raramente superan 1,50 m. Esto cobra mayor importancia en una región en la que existe una alta frecuencia de días con fuertes vientos durante la época invernal y la planta de sorgo debe mantenerse en pie por un largo período de tiempo, para que la cosecha del forraje por parte del animal sea lo más eficiente posible.

El sorgo granífero, es una especie cuyo forraje diferido hacia el invierno se caracteriza por tener valores de proteína bruta (PB) inferiores al 7% (Lagrange, 2008), lo cual limita la tasa de crecimiento de novillos a pastoreo. La suplementación proteica, mejoraría la utilización de estos forrajes mediante mayor disponibilidad de N a nivel ruminal. De esta manera, se favorece el desarrollo de la microflora del rumen, particularmente el número de bacterias celulolíticas (Arakaki *et al.*, 2004) lo cual mejora la eficiencia de fermentación (tasa de digestión de la fracción fibrosa), promoviendo una respuesta favorable en el consumo de forraje (DelCurto *et al.*, 1990a; Hannah *et al.*, 1991; Arelovich *et al.*, 1992, Stafford *et al.*, 1996).

El objetivo de la presente revisión consiste en discutir aquellos factores que contribuyen a mejorar la eficiencia de utilización de forrajes de baja calidad, especialmente en referencia al sorgo granífero diferido, y su efecto sobre el ambiente ruminal y la productividad animal. Sin embargo, es conveniente en primer término resaltar algunas características distintivas del sorgo granífero.

1.2 La planta de sorgo granífero.

1.2.1 Aspectos fisiológicos relacionados al uso del agua.

El sorgo posee una serie de características que favorecen su adaptación a zonas marginales, permitiéndole tolerar mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cereales. Comparado con el maíz, el sorgo tiene un sistema radical más fibroso y ramificado que alcanza profundidades de 0,90 a 1,20 m, duplicando la proporción de raíces secundarias y pelos radicales en cualquier estado de crecimiento (House, 1982). De esta manera, las raíces de la planta penetran un mayor volumen de suelo para obtener la humedad, siendo más eficiente la absorción de nutrientes. Según Salas *et al.* (1997), los mayores rendimientos se obtienen en suelos profundos, sin sales solubles en exceso, de buen drenaje, sin capas endurecidas, de buena fertilidad y pH entre 6,2 y 7,8. De todas maneras es posible obtener rendimientos satisfactorios con alguna limitante de salinidad y/o alcalinidad. Otra característica propia de la especie es el alto contenido de sílice presente en la endodermis radical, lo cual actúa como un refuerzo mecánico contra el colapso bajo condiciones de sequía (Doggett, 1970).

Posee menor área foliar que el maíz, hojas angostas y cerosas con cutícula gruesa, menor proporción de estomas en el haz que en el envés de las hojas y células motoras ubicadas cerca de la nervadura central que favorecen el rápido arrollamiento de la lámina (acartuchamiento), lo que le otorga una muy buena capacidad de regulación de la transpiración (Doggett, 1970).

Es importante señalar que el sorgo requiere menos humedad para su crecimiento que algunos otros cereales, 330 kg de agua por cada kg de MS acumulada, mientras que el maíz requiere 372 kg de agua (Paul, 1985). Además el sorgo tiene la capacidad de disminuir los procesos metabólicos y permanecer latente durante períodos de sequía, para volver luego a crecer en períodos favorables de humedad (Doggett, 1970).

El requerimiento mínimo de agua durante el ciclo del cultivo para llegar a producir grano es de 250 mm y pueden obtenerse buenos rendimientos con 350 mm, pero, para lograr altas producciones, el requerimiento de agua varía entre 450 y 600 mm, dependiendo del ciclo del híbrido elegido y las condiciones ambientales (Doggett, 1970). Ante situaciones de estrés hídrico el ciclo de crecimiento puede alargarse o acelerarse dependiendo del momento de ocurrencia de la sequía, siendo las etapas más críticas las de panojamiento y floración, puesto que deficiencias hídricas en estos momentos producen importantes mermas en los rendimientos (Bennett y Tucker, 1986).

1.2.2 Efecto de la temperatura y ciclo de crecimiento.

Otro de los factores que influye sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo y que en nuestra región es de gran importancia, es la temperatura. Las heladas tardías pueden enfriar el suelo, produciendo malas emergencias o matando las plántulas emergidas (House, 1982). Las heladas tempranas pueden afectar a los sorgos tardíos en estado de grano lechoso, produciendo la muerte permanente de la planta y, por ende, granos chuzos y livianos. La mayoría de los cultivares requiere temperaturas superiores a 21°C para un buen crecimiento. Durante la floración, temperaturas inferiores a 16°C, pueden producir esterilidad de las espiguillas y afectar la viabilidad del grano de polen (Downes y Marshall, 1971).

En particular, el ciclo de crecimiento de cada híbrido es otro de los factores que estará influyendo sobre el rendimiento final del cultivo. Los sorgos graníferos pueden

clasificarse de ciclo de crecimiento corto, intermedio o largo, según los días que transcurren desde emergencia a floración. Los cultivares de ciclo largo poseen mayor potencial de rendimiento que los híbridos de ciclo más corto, pero para lograrlo necesitan humedad, temperatura y fertilidad (Bolletta, 2005), características no muy comunes en nuestra región. En la EEA Bordenave, los registros pluviométricos de los últimos 20 años muestran que las precipitaciones durante el ciclo del cultivo no superaron los 400 mm en el 50% de los casos, por lo que los sorgos de corto período vegetativo serían los más aconsejados por su mayor estabilidad en los rendimientos.

1.3 Características del grano de sorgo.

El grano del sorgo está compuesto de tres partes principales, la cubierta exterior (pericarpio), el tejido de almacenamiento (endosperma) y el embrión (Paul, 1985).

En endosperma ocupa la mayor proporción del peso del grano, con un 80 a 85%, seguido por el embrión (7–12%), y el pericarpio con el 8% (Hubbard *et al.*, 1950). Algunos híbridos poseen una capa de células por debajo del pericarpio y fusionada al mismo llamada testa. Localizada por debajo del pericarpio, o bajo la testa, cuando la hay, se encuentra la capa de aleurona, compuesta por un simple estrato de células rectangulares.

El endosperma consiste de las porciones periférica, cornea y harinosa. La proporción en que se encuentran cada una de estas porciones varía en función del genotipo (Chandrashekar y Mazhar, 1999). Las diferencias en cuanto a la textura del endosperma (harinoso o córneo), pueden provocar diferencias con respecto a la degradabilidad ruminal de la MS.

Las células de la porción periférica y córnea contienen pequeños gránulos de almidón rodeados por cuerpos de proteína (prolaminas) y embebidos en una densa y continua matriz proteica, constituida principalmente por glutelinas (Paul, 1985). La dura

y densa capa de aleurona, sumada a la alta concentración de cuerpos proteicos en el área periférica del endosperma, reducen el contacto entre los gránulos de almidón y las enzimas digestivas, reduciendo la digestibilidad de la proteína y el almidón del grano de sorgo (Rowe *et al.*, 1999). El procesamiento del grano permite alterar esta zona y exponer los gránulos de almidón y la matriz proteica al proceso digestivo (Rooney y Pfulgfelder, 1986; Huntington, 1997).

Finalmente, por debajo de estas capas se encuentra el endosperma harinoso que presenta la mayor concentración de gránulos de almidón en todo el grano. A diferencia de los demás endospermas, la matriz proteica que los rodea es discontinua y con menor cantidad de cuerpos proteicos (Rooney y Pfulgfelder, 1986). Este tipo de almidón es el más susceptible a los procesos digestivos o al procesado de los granos (Huntington, 1997).

Los gránulos de almidón están compuestos por amilosa y amilopectina, la proporción de ambas en los gránulos determina la tasa y la extensión de la digestión (Rowe *et al.*, 1999). La proporción de amilosa en el almidón puede variar entre un 20 a 30%. La amilopectina es un polímero ramificado y comprende entre el 70 y 80% del almidón de los granos (Rooney y Pfulgfelder, 1986). Las diferencias entre los contenidos de amilosa y amilopectina pueden afectar la digestibilidad del almidón. La digestibilidad del almidón es inversamente proporcional al contenido de amilosa (Rooney y Pfulgfelder, 1986), por lo que a mayor proporción de amilosa en el almidón del sorgo, menor será su digestibilidad. El almidón del sorgo es de baja solubilidad (132 g/kg MS), mediana degradabilidad ruminal (525 g/kg MS) y moderada velocidad de digestión, 4,4%/h (Gagliostro, 1999); lo que le otorga un menor riesgo de causar interacciones digestivas negativas o cuadros de acidosis ruminales clínicas.

El contenido de proteína bruta (N x 6,25) del grano de sorgo es aproximadamente del 12% (Hulse *et al.*, 1980). Las proteínas predominantes en el grano de sorgo son las prolaminas, las que se encuentran en mayor proporción en el endosperma (Seckinger y Wolf, 1973).

La accesibilidad de las enzimas digestivas a los gránulos de almidón depende de la composición química y el grosor de la pared de las células que los recubren, además de la matriz proteica y los cuerpos proteicos que rodean a los gránulos limitando el acceso bacteriano y afectando la digestibilidad y aprovechamiento por parte del animal. Ello se debe a la insolubilidad de la mayoría de las proteínas del endosperma y a la manera en que ellas enlazan los gránulos de almidón (McAllister *et al.*, 1993).

Uno de los problemas de la utilización del sorgo granífero como diferido, es la imposibilidad de procesar el grano y de esta manera remover la matriz proteica que recubre los gránulos de almidón, facilitando el ataque de las enzimas a los mismos (McAllister *et al.*, 1994). De esta manera, la acción enzimática queda sujeta a la probabilidad de que los granos sean masticados y quebrados por el animal.

Existen trabajos que han hallado hasta un 50% de granos de sorgo enteros en heces que han escapado a la digestión (Stritzler *et al.*, 1982), cuando los animales consumen grano sin procesar, lo que implica menor digestibilidad del almidón en el tracto total en comparación con el grano partido (Galyean *et al.*, 1981), con la consecuente disminución en la respuesta productiva de los animales (Danelon, 1980; Smith y Bolsen, 1985).

El tamaño pequeño del grano, y las limitantes físicas que impone a la digestión, parecen ser las razones más importantes por las que una proporción del grano que se consume entero pasa por el tracto sin ser digerido.

Stritzler *et al.* (1982), determinaron un incremento en la degradabilidad ruminal *in situ* después de 48 h de incubación, que fue del 10 al 90%, luego de aplicar una técnica de procesado tan simple como lo es el molido de los granos de sorgo.

1.3.1 Efecto del contenido de taninos condensados.

El grano de sorgo contiene compuestos fenólicos que pueden afectar el color y la calidad nutricional de los granos. Dentro de esta familia se encuentran los taninos condensados (McSweeney *et al.*, 2001; Dykes y Rooney, 2007). La mayor parte de los taninos condensados del grano de sorgo se encuentran en la testa (Domanski *et al.*, 1997), lo que le proporciona al grano una coloración marrón, aunque es posible hallar granos de coloración blanca con presencia de testa (Rooney y Miller, 1981).

La investigación ha demostrado que los taninos condensados se ligan a una porción de la proteína del grano, convirtiéndola en no digestible, y limitando así la disponibilidad de nitrógeno para los microorganismos del rumen (Hagerman y Butler, 1981). De todas maneras, la suplementación de una dieta con proteínas adicionales puede contrarrestar el efecto negativo de los taninos condensados en rumiantes (Butler, 1978). La unión entre las proteínas y los taninos condensados se establece a través de puentes hidrógeno. De esta manera, las prolaminas (principales proteínas de los granos de sorgo), presentan una gran afinidad por los taninos debido a su gran capacidad de formar puentes de hidrógeno (Hagerman y Butler, 1981). La presencia de taninos en los granos de sorgo se ha relacionado también con una disminución en la degradabilidad del almidón de los granos y reducciones en la desaparición de la materia seca en ensayos *in vitro* realizados por Hibberd *et al.* (1982).

Los taninos condensados también retardan el crecimiento y desarrollo de las bacterias ruminales, al inhibir los mecanismos de transporte de nutrientes hacia el interior de la célula bacteriana (McSweeney *et al.*, 2001).

De todas maneras existen también varios estudios que no han hallado diferencias en cuanto a la degradabilidad ruminal del almidón y de la materia orgánica entre híbridos con y sin taninos (Hibberd *et al.*, 1985; Streeter *et al.*, 1990).

Por último, es importante mencionar que el contenido de taninos condensados de los granos está relacionado directamente con la resistencia a la depredación por pájaros, la cual puede ser muy importante sobre todo en zonas con alta densidad de pájaros. Al presentar taninos, los pájaros rechazan este cultivo para su alimentación en razón de la astringencia producida (Harris, 1969). Se han evaluado pérdidas de más del 70% de rendimiento de grano en materiales híbridos que poseen bajo contenido de taninos en comparación con híbridos alto tanino (Abdelhadi, 2006). El genotipo de sorgo determina la composición química y la presencia de taninos en los granos (Hibberd *et al.*, 1982).

1.4 Valor nutritivo del forraje.

Es ampliamente conocido que uno de los principales factores que afecta la calidad y utilización de los forrajes, es el estado de madurez o desarrollo del mismo (Arthington y Brown, 2005).

El forraje diferido de sorgo granífero se caracteriza por tener un alto contenido de paredes celulares altamente lignificadas. Estudios previos han reportado valores de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), cercanos al 70 y 44%, respectivamente (Arelovich, 2003).

La lignificación es uno de los principales factores responsables de la disminución en la digestibilidad de la fibra, además de la presencia de ácidos como el p-cumárico y ferúlico que forman complejos con la celulosa y la hemicelulosa, dificultando el acceso de los microorganismos a la estructura de la pared celular (Hoover, 1986). Otros compuestos presentes en el forraje diferido de sorgo que pueden

provocar una disminución en la digestibilidad de la MS son la sílice (Van Soest y Jones, 1968) y los taninos presentes en los granos (Schaffert *et al.*, 1974).

En lo que respecta al contenido de proteína bruta (PB) de este forraje en su estado diferido, la bibliografía reporta valores que no superan el 7% (Arelovich, 2003; Recavarren, 2007). Es sabido que el consumo de forrajes que contienen menos de 7 % de PB se encuentra limitado por el suministro de N al rumen (Doyle, 1987). En este sentido, la suplementación nitrogenada de estos forrajes mejora la actividad microbiana y, en consecuencia, la eficiencia de degradación ruminal de la fracción fibrosa del forraje (Church y Santos, 1981; Arelovich *et al.*, 1992), aumentando la tasa de pasaje del contenido ruminal (McCollum y Galyean, 1985). Esto provoca un desalojo más rápido y una disminución en la distensión de las paredes del rumen, promoviendo una respuesta favorable en el consumo de forraje (Van Soest, 1994). Existen en la bibliografía numerosos trabajos en los que se han observado respuestas positivas en el consumo de forrajes de baja calidad cuando se les suministra a éstos nitrógeno suplementario (DelCurto *et al.*, 1990a; Hannah *et al.*, 1991; Arelovich *et al.*, 1992, Stafford *et al.*, 1996). La mejora en el consumo y en la utilización de forrajes de baja calidad, promueve a su vez una mejora en la performance del animal (DelCurto *et al.*, 1990b; Arelovich, *et al.*, 1992; Laborde *et al.*, 2001).

Los principales factores que estarían afectando la respuesta a la suplementación con N sobre el consumo de forrajes de baja calidad serían: el nivel de proteína en el forraje, la cantidad y degradabilidad de la proteína suministrada, el tipo de suplemento y el nivel de suplementación. Stafford *et al.* (1996), evaluaron la suplementación de forrajes de baja calidad (1,9% PB), a través de dos concentrados (moderado y alto tenor proteico a base de grano de sorgo y harina de soja), heno de alfalfa y pellets de alfalfa. Si bien se registraron aumentos en el consumo de forraje en todos los niveles de

suplementación utilizados (0,05, 0,10 y 0,15 % PV de PB/d), la respuesta fue lineal para el caso del pellet de alfalfa y el concentrado de alta proteína, y cuadrática para el heno y el concentrado de bajo tenor proteico, demostrando de esta manera la influencia que tiene el tipo de suplemento suministrado sobre la respuesta en el consumo.

Recientes estudios realizados en el norte del país con forrajes de baja calidad como es el heno de *Dichanthium caricosum*, dieron como resultado un aumento en el consumo de forraje de hasta un 40% al suplementar con grano de soja crudo a niveles del 0,5% PV y un incremento de un 80% en la ganancia diaria de peso (GDP) con respecto al control sin suplementar (Balbuena *et al.*, 2006a). En cuanto al ambiente ruminal, se determinó un incremento significativo en el nivel de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) en fluido ruminal y una disminución en la relación acético:propiónico (Balbuena *et al.*, 2006b).

1.5. Digestión de carbohidratos y generación de productos de fermentación.

La pared celular es el componente de mayor proporción en forrajes diferidos. Está compuesta principalmente por carbohidratos como celulosa, hemicelulosa y pectinas, a los que se halla unida la lignina (Van Soest, 1994). Desde el punto de vista nutricional denominamos este arreglo de carbohidratos y lignina como fibra. Si bien la lignina limita la digestibilidad de la pared celular, la fracción de carbohidratos es utilizable, y la magnitud de su degradación por la microflora ruminal dependerá de la especie vegetal, proporciones relativas de sus componentes y grado de lignificación. De esta manera, la fibra constituye una fuente importante de energía para el rumiante, además de intervenir en otros procesos fisiológicos como la estimulación de la rumia y la regulación del pH ruminal a través del flujo de saliva hacia el rumen (Van Soest, 1994; McDonald *et al.*, 1995).

La primera fase de degradación en el rumen, consiste en la digestión de los carbohidratos complejos hasta azúcares sencillos, los cuales son liberados hacia el medio ambiente ruminal. Esta fase se lleva a cabo por enzimas microbianas extracelulares (Fahey y Berger, 1993).

En una segunda etapa la glucosa y el resto de los azúcares son absorbidos inmediatamente y metabolizados por los microorganismos siguiendo diferentes vías. Los productos finales de la digestión de los carbohidratos en el rumen son los ácidos grasos volátiles (AGV), acético, propiónico y butírico, además de dióxido de carbono y metano. La concentración total de AGV varía en función del tipo de ración consumida y del tiempo transcurrido desde la última comida (Owens y Goetsch, 1988).

Las dietas que contienen una alta proporción de forrajes fibrosos originan mezclas de AGV que contienen una elevada proporción de ácido acético, cercana al 70%; mientras que la adición de concentrados a los forrajes hace aumentar la proporción de ácido propiónico a expensas de ácido acético. Por ejemplo, si el animal consume una dieta rica en granos cerealeros la proporción molar acetato:propionato resultaría cercana a 1, mientras que con una dieta rica en forrajes este cociente sería igual o mayor a 3 (Fahey y Berger, 1993).

La mayor parte de los AGV producidos se absorbe directamente en el retículo-rumen, aunque en baja proporción pueden ser utilizados por bacterias y protozoarios. El acetato absorbido llega sin modificar hasta el hígado mediante la circulación porta. El 80% del acetato escapa a la oxidación y pasa hacia la circulación periférica para ser oxidado en distintos órganos vía ciclo del ácido tricarbóxico o utilizado para la síntesis de ácidos grasos (Bergman, 1975; Dijkstra, 1994).

La mayor parte del ácido propiónico que llega al hígado es oxidado o transformado en glucosa para ser empleada luego como fuente de energía, o para la

síntesis de glucógeno (Bergman, 1975). Además, favorece la liberación de insulina, que a su vez promueve la tasa de crecimiento y la ganancia de peso del animal al estimular la síntesis de proteína y ácidos grasos (Brockman y Laarveld, 1986). De aquí la importancia de que el animal consuma dietas que generen altas concentraciones de ácido propiónico en el rumen.

El ácido butírico es transformado en gran parte en cetonas durante su absorción y es oxidado en otros tejidos corporales o usado para síntesis de ácidos grasos en el tejido adiposo (Fahey y Berger, 1993).

1.6 Efecto de la concentración de amoníaco ruminal sobre el crecimiento microbiano y la digestión de la fracción fibrosa.

La digestión de los polisacáridos de la fracción fibrosa puede ser alterada mediante la incorporación de N a dietas deficientes en proteína o que presentan baja degradabilidad ruminal, incrementando el contenido de N-NH₃ en el rumen por encima de los niveles limitantes para el desarrollo de los microorganismos ruminales (Slyter *et al.*, 1979).

Es conocido el hecho que numerosas bacterias ruminales utilizan el NH₃ como fuente de N para la síntesis de proteína microbiana (Bryant y Robinson, 1963; Al-Rabbat *et al.*, 1971; Mehrez *et al.*, 1977; Smith, 1979). Este NH₃ puede provenir de la degradación de las proteínas y de la degradación del nitrógeno no proteico (Russell *et al.*, 1992).

Las proteínas de los alimentos son hidrolizadas por enzimas bacterianas extracelulares de tipo proteolítico hasta péptidos de cadena corta y aminoácidos. Estos aminoácidos pasan a formar parte de la proteína microbiana o son degradados hasta ácidos orgánicos, NH₃ y CO₂. El NH₃ es posteriormente empleado por los microorganismos para la síntesis de su propia proteína (McDonald *et al.*, 1995).

Si el NH_3 se acumula en el líquido ruminal por encima de la concentración crítica a la que puede ser incorporado a la síntesis de proteína bacteriana, difunde a través de la pared ruminal y es transportado hacia el hígado donde es transformado en urea. Del 23 al 92% de la urea del plasma se recicla hacia el rumen, asociándose los valores mayores con un consumo más bajo de N (Owens y Zinn, 1988). En aquellos casos en donde los alimentos aportan poca cantidad de proteína y la concentración de NH_3 en el rumen es deficiente, el reciclado de la urea hacia el rumen a través de la sangre puede ser una contribución muy importante de N amoniacal (Russell *et al.*, 1992). La urea del plasma llega al rumen por dos vías, con la saliva y mediante difusión desde la sangre hacia el rumen a través de la pared ruminal, para ser hidrolizada por ureasas bacterianas hasta NH_3 y CO_2 .

Las concentraciones de NH_3 en el rumen varían según el tiempo transcurrido tras el consumo del alimento. Con dietas ricas en proteínas vegetales tales como las harinas de soja y de girasol, que se degradan a una velocidad constante y continua en el interior del rumen, suelen alcanzar máximos de 3 a 5 horas después del consumo (Rochinotti *et al.*, 2002). A partir de ese momento la concentración de NH_3 comienza a declinar a medida que es capturado por la célula microbiana para la síntesis de aminoácidos, que luego pasarán a formar parte de la proteína microbiana (Smith, 1979).

La estimación de la concentración óptima de amoníaco en el rumen para lograr la máxima tasa de crecimiento bacteriano es de 5 mg/dl (Satter y Slyter, 1974). La concentración óptima de NH_3 se logra cuando el ingreso a la célula bacteriana es suficiente para sostener el máximo crecimiento bacteriano determinado por el suministro de energía y otros nutrientes.

El crecimiento microbiano puede ser limitado por una deficiencia en el suministro al rumen de compuestos preformados tales como aminoácidos y péptidos, los

cuales también son utilizados como fuente de energía y de unidades estructurales en la síntesis de proteína microbiana (Stern y Hoover, 1979; Cotta y Russell, 1982). Las fuentes de proteína de origen vegetal como las harinas de soja y girasol que son degradadas de forma continua en el interior del rumen, favorecen el crecimiento microbiano al ir liberando gradualmente los aminoácidos al líquido ruminal (Owens y Zinn, 1988). De la proteína total ingerida por este tipo de alimentos, el 70 a 80% será degradada en el interior del rumen, mientras que la fracción residual, 20 a 30%, escapará a la digestión ruminal (NRC, 2000), pasando el rumen sin degradarse y liberando los aminoácidos directamente en el intestino delgado en donde serán absorbidos.

De esta manera, la adición de proteína verdadera a forrajes de baja calidad, mejora la eficiencia de utilización del NH_3 por parte de los microorganismos ruminales, con respecto al suministro de fuentes nitrogenadas de mayor degradabilidad ruminal como la urea, lo que se traduce en una mejora en la performance animal (Arelovich *et al.*, 1992, García *et al.*, 2003).

Las fuentes proteicas de origen vegetal de mayor disponibilidad a nivel regional son la harina de girasol y el grano de soja o la sojilla, por lo que a continuación se verá con más detalle las características de cada una de ellas.

1.7 Particularidades de la Harina de Girasol.

La industrialización de los granos oleaginosos para la producción de aceites, origina harinas de diversa calidad nutritiva que representan una de las fuentes de proteína más importantes para la producción animal. La harina de girasol es el subproducto de la extracción mecánica de aceite (por presión continua), seguido de una etapa de extracción por solvente. De esta manera, la harina normalmente contiene entre

1 a 2,5% de grasa. Para facilitar el transporte y almacenaje de dichos subproductos, se los “*pelletiza*” (prensado a vapor de la harina), razón por la cual comercialmente, y por su presentación en comprimidos cilíndricos resultantes de este proceso también son denominados “*pellets*”.

La harina de girasol es más apta para alimentación de rumiantes debido a la alta proporción relativa de fibra proveniente de la adición de la cáscara de la pepita de girasol. Esto a su vez la hace inferior a otras harinas proteicas en su contenido energético. A pesar de esto, la composición química de la harina de girasol puede variar sustancialmente dependiendo de la cantidad de cáscara remanente durante el proceso de extracción del aceite. En este sentido se ha observado un aumento considerable en el contenido de PB de la harina de girasol y una disminución en los niveles de fibra bruta cuando se le extrae toda la cáscara (García *et al.*, 2003), alcanzando valores similares a los de la harina de soja.

En investigaciones realizadas para determinar la degradabilidad de la proteína de la harina de girasol (Schingoethe y Ahrar, 1979; Arroyo *et al.*, 2002), se observó un valor cercano al 30% para la fracción soluble “a” y valores de degradabilidad efectiva (DE) de aproximadamente un 80%.

En otro estudio (Arelovich *et al.*, 1996), determinaron la desaparición *in situ* de la PB de la harina de girasol en diferentes horarios de exposición ruminal, observando valores que superan el 90% a partir de las 12 horas de exposición. Esta alta degradabilidad de la PB a nivel ruminal se puso de manifiesto con altas concentraciones de N-NH₃ de 15 mg/dl a las 2 h posteriores al suministro del suplemento, las cuales descendieron drásticamente a 2 mg/dl entre las 2 y las 8 h. Según estos datos puede decirse que, en general, la harina de girasol es una fuente de proteína de alta degradabilidad ruminal. En cuanto a la degradabilidad de la MS de la harina de girasol, este estudio ha determinado

valores cercanos al 75%, lo que indica un importante aporte de energía a nivel del rumen, además de su alto valor proteico.

La composición de aminoácidos de la harina de girasol es similar a la de harina de soja, sin embargo la cantidad de aminoácidos solubles esenciales y no esenciales es mayor en la harina de girasol (Schingoethe y Ahrar, 1979).

Varios trabajos han comparado la utilización de urea y de harina de girasol como suplementos proteicos en dietas para rumiantes. García *et al.* (2003) determinaron un 23% más de consumo de MS en terneros que fueron suplementados con harina de girasol en un engorde a corral a base de silaje de maíz, en comparación a aquellos que recibieron urea. Este aumento del consumo se tradujo en un importante incremento de peso vivo, dando como resultado 1,03 vs 0,32 kg/d, para las dietas con harina de girasol y urea, respectivamente. Las dietas evaluadas fueron isonitrogenadas (16% PB). Estos resultados se explican en parte por el aporte de aminoácidos preformados y por una mejor utilización del contenido ruminal de N-NH₃, debido a un mayor aporte de materia orgánica rápidamente fermentable en el rumen de los animales que consumieron harina de girasol.

Arelovich *et al.* (1992) evaluaron los efectos de la suplementación con harina de girasol y grano de avena, con y sin urea sobre la performance de terneros que consumían una dieta base de pasto llorón (*Eragrostis curvula*). Determinaron un aumento cercano al 22% en el consumo de pasto llorón cuando éste fue suplementado con nitrógeno con respecto a aquel suplementado únicamente con grano de avena. No se detectaron diferencias entre las dietas con urea y con harina de girasol. Sí se encontraron diferencias significativas entre estas dos dietas en lo que respecta al aumento de peso vivo, siendo de 516, 297, 99 y -219 g/d, para las dietas con harina de girasol, urea reemplazando el 30% de la proteína, urea reemplazando el 60% y grano de

avena, respectivamente. Estos autores concluyeron que la sustitución de proteína vegetal por NNP fue igualmente efectiva para promover el consumo pero, sin embargo, la performance animal disminuyó. La ineficiencia en el uso del NH_3 rápidamente disponible por parte de los microorganismos ruminales cuando el pasto llorón es suplementado con urea, sería la razón más importante que explica esta caída en la tasa de crecimiento animal.

Otros estudios han evaluado los niveles de suplementación de harina de girasol en las dietas que maximizan la performance animal y optimizan el ambiente ruminal. Santini *et al.* (1997) realizaron un ensayo con terneras Holando con combinaciones de silaje de maíz y harina de girasol de manera tal de generar dietas de 12, 15 o 18% de PB. Las dietas estaban compuestas de 17,1; 28,2; y 39,3% de harina de girasol para lograr los niveles proteicos citados previamente. El consumo voluntario de MS aumentó 4,7% por cada unidad porcentual de incremento en la PB de la dieta. En el mismo sentido, las tasas de ganancia de peso tendieron a aumentar a medida que se incrementó el consumo voluntario de alimento, y la eficiencia de conversión a disminuir ya que el aumento del consumo se dió en forma más que proporcional con respecto a la tasa de engorde. En lo que respecta al ambiente ruminal, el nivel de N-NH_3 aumentó a medida que se incrementaba el nivel de N en la dieta y el pH disminuyó como consecuencia de una mayor producción de ácidos grasos volátiles. Estos resultados indican que es posible lograr una mayor tasa de aumento de peso con niveles crecientes de harina de girasol en la dieta como resultado de un mayor consumo total de MS y de una mayor cantidad de materia orgánica fermentada en el rumen.

Resultados similares en lo que respecta a ambiente ruminal fueron hallados por Baumann *et al.* (2004), al suplementar con harina de girasol a forrajes de baja calidad. En este caso la inclusión de harina de girasol también aumentó los niveles de N-NH_3 y

la concentración de propionato en el rumen, disminuyendo la de acetato con respecto a la dieta control sin suplementar. Este estudio determinó además una disminución en el consumo del forraje base (7% PB) de 1,45 a 1,29% PV, promoviéndose un efecto de sustitución por la harina de girasol. El contenido de MS ruminal fue mayor para los novillos que no fueron suplementados indicando un mayor tiempo de retención que se corresponde con el menor consumo total determinado con la dieta control.

En este sentido, Balbuena *et al.* (2002) obtuvieron resultados similares en cuanto al mayor tiempo de retención de la digesta ruminal en novillitos que consumían un forraje tropical de muy baja calidad (*Cynodon niemfuensis*), con respecto a aquellos suplementados con harina de girasol a razón del 0,5% PV. Específicamente el tiempo de retención fue de 83 h para el grupo control sin suplementar *versus* 70 h para el grupo que recibió la suplementación proteica. Este mayor tiempo de retención en el tratamiento control coincide con un menor consumo total de MS.

1.8 Grano de soja.

En los últimos años el cultivo de soja se ha expandido en la Argentina, ocupando áreas marginales, promovido entre otras razones por los bajos precios de otros productos agropecuarios tradicionales tales como el trigo o el girasol. Debido a esto, es posible que muchos productores dispongan de grano de limpieza de soja, grano partido, etc. que no concuerda con los patrones de comercialización y deseen utilizarlo en la alimentación del ganado bovino como suplemento proteico y energético.

El grano de soja posee en sus cotiledones gránulos de lípidos y glóbulos de proteína, con un total de 22% de lípidos y 50% de proteínas en el peso seco de los cotiledones. El tegumento representa sólo el 8% del peso del grano y está constituido en un 86% por carbohidratos (celulosa) y lignina. De esta manera, el porcentaje de proteína de la semilla de soja es de un 40% aproximadamente, y el de aceite fluctúa alrededor del

21% (Casini, 1997), y en comparación con las harinas es un producto de mayor valor energético y menor valor proteico.

La proteína tiene un excelente balance de aminoácidos en comparación con otras proteínas vegetales, siendo rica en lisina y metionina. El aceite de soja es hidrolizado en alto grado en el rumen por las lipasas bacterianas. Una vez hidrolizados, los ácidos grasos insaturados son hidrogenados por las bacterias, dando lugar a ácido esteárico (Byers y Schelling, 1988). De esta forma, la grasa que aparece en el intestino delgado de los rumiantes, difiere en gran medida con la grasa de la dieta.

Es sabido que la capacidad de los microorganismos del rumen para digerir los lípidos es muy limitada. Si la cantidad de lípidos en las raciones de los rumiantes supera los 100 g/kg MS, la actividad de los microorganismos del rumen disminuye (McDonald *et al.*, 1995), haciendo más lenta la fermentación de los carbohidratos y, por ende, disminuyendo el consumo de alimento. Entre los mecanismos que reducen la digestión de la fibra se incluye el recubrimiento físico de la fibra con grasa, efectos tóxicos que modifican a ciertos microorganismos, efectos tensoactivos sobre las membranas microbianas, y descenso en la disponibilidad de cationes mediante la formación de jabones (Palmquist y Jenkins, 1980).

Los ácidos grasos de cadena larga no se absorben directamente en el rumen. Llegan al intestino delgado en forma de ácidos grasos no esterificados, altamente saturados y ligados a la materia particulada formando un complejo insoluble. Como consecuencia del pH ácido de la porción proximal del intestino delgado, los ácidos grasos se ionizan y solubilizan aumentando la capacidad de absorción (Byers y Schelling, 1988).

El grano de soja posee además factores antinutritivos, tales como los inhibidores de tripsina, hemoglutininas, saponinas, isoflavonas y factores antivitaminicos, que

provocan un efecto adverso sobre la tasa de crecimiento y la eficiencia de conversión alimenticia. Este efecto tiene en los rumiantes menor magnitud que en no rumiantes. Aparentemente la proporción de grano de soja crudo en la dieta estaría influyendo sobre la aparición de estos efectos adversos, sugiriéndose no sobrepasar el 15% de la ración total.

De ser necesario “inactivar” el grano de soja, se lo puede someter a temperaturas de 80–100°C durante 20 minutos; esto elimina en un 90% los inhibidores de crecimiento. Elevadas temperaturas inactivan los inhibidores de la tripsina y desnaturalizan la hemoglobulina de la soja, haciendo a las proteínas más susceptibles a la proteólisis y mejorando de esta manera su aprovechamiento por parte del animal (Casini y Viale, 1997).

Sin embargo, en rumiantes el proceso de inactivación del grano puede tener menor trascendencia dado que parte de este proceso puede ocurrir mediante la acción de los microorganismos ruminales. En este sentido, Kloster y Latimori (1997) realizaron una prueba a corral con vaquillonas en engorde utilizando una proporción de soja no mayor al 15% de la MS de la dieta, y no observaron diferencias en ganancia de peso entre dietas con grano entero de soja cruda y grano entero con inactivación de factores antinutricionales por calor seco y calor en medio acuoso.

Ahora bien, cuando el grano de soja es calentado, ya sea como consecuencia del proceso de inactivación de los factores antinutricionales o como ocurre en el proceso de extracción del aceite en donde se generan harinas de alta concentración proteica, puede provocar una desnaturalización de las proteínas, reduciendo su solubilidad y disminuyendo su susceptibilidad a la degradación ruminal.

En este sentido, Stern *et al.* (1985) realizaron un estudio en donde observaron claramente cómo el tratamiento de extracción del aceite del grano de soja o el extrusado

a alta temperatura disminuía la desaparición ruminal del N en condiciones *in situ* con respecto al grano de soja crudo. Las dietas suplementadas con soja extrusada presentaron mayor resistencia a la degradación proteica, con 60% de la proteína degradada en el rumen, mientras que la degradación de la proteína en las dietas con harina de soja y soja cruda fue de 73 y 80%, respectivamente.

Estos resultados conciben con los hallados recientemente por Fathi Nasri *et al.* (2007), quienes trabajando con vacas en lactancia determinaron un aumento en la concentración ruminal de N-NH₃ y en los niveles de urea tanto en plasma sanguíneo como en la leche, cuando las vacas fueron alimentadas con soja cruda con respecto a las que recibieron el grano de soja tostado. También se observó una disminución en la concentración de aminoácidos esenciales en plasma en los animales que consumieron soja cruda. Estos resultados estarían indicando que los tratamientos con calor protegen a la proteína del grano de soja de la degradación ruminal, aumentando el flujo de aminoácidos hacia el intestino delgado.

Balbuena *et al.* (2004) observaron que la degradabilidad ruminal de la proteína del grano de soja fue mayor en la soja cruda, seguida por la soja desactivada con vapor y la soja extrusada. Cuando se suplementó con grano de soja a un nivel del 0,7% PV a vaquillonas que pastoreaban un forraje de baja calidad (*Dichanthium caricosum*), se encontró que los animales que recibían soja cruda también tenían los niveles más altos de urea en sangre, seguidos por aquellos que consumieron soja desactivada con vapor, soja extrusada y, por último, los que no fueron suplementados, presentando valores indicativos de déficit de nitrógeno en rumen. Las vaquillonas suplementadas ganaron más que las del grupo control, pero la mejor respuesta se produjo con la soja extrusada.

Existen otros trabajos en la literatura en los que se ha observado una tendencia a aumentar el contenido de urea en sangre cuando se suplementa con grano de soja crudo

a forrajes de baja calidad, con respecto a animales que no son suplementados (Laborde *et al.*, 2005). En este trabajo también se observó un aumento en el consumo de paja de trigo en terneros que recibieron grano crudo de soja a razón del 0,3% PV con respecto a aquellos sin suplementar.

Resultados similares fueron hallados anteriormente por Torre *et al.* (2003), utilizando niveles similares de suplementación, registraron aumentos en el consumo de paja de trigo de hasta un 50%. Además en este trabajo se pudo constatar que el incremento en el consumo de paja fue el mismo cuando el grano de soja fue suministrado crudo o tostado. En cuanto a los parámetros ruminales y sanguíneos, se observó un aumento en las concentraciones ruminales de N-NH₃ y de urea en plasma en los animales que consumían grano de soja con respecto al tratamiento control sin suplementar.

2. HIPOTESIS

- La adición de proteína suplementaria como grano de soja entero, o harina de girasol a novillos que pastorean sorgo granífero diferido:
 1. Disminuye la cantidad de grano de sorgo que pasa entero por el tracto gastrointestinal sin ser digerido.
 2. Incrementa la digestibilidad de la materia seca de la dieta total.
 3. Aumenta el consumo voluntario de la dieta basal.
 4. Promueve la tasa de crecimiento animal.
 5. Mejora la eficiencia de conversión de la dieta total.
- La suplementación con grano de soja tendrá un efecto diferencial en la eficiencia de utilización de la dieta y respuesta animal comparado con la harina de girasol.

3. OBJETIVO

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la adición de proteína suplementaria sobre el consumo voluntario, la tasa de crecimiento, y parámetros de digestión y metabolismo ruminal en novillos Aberdeen Angus que pastorean sorgo granífero diferido (SGD).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Características del área de estudio.

4.1.1 Ubicación.

La experiencia se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bordenave, Partido de Puán, en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, a los 37° 50' 55'' de latitud sur y 63° 10' 20'' de longitud oeste, a 212 m s.n.m.

4.1.2. Clima.

Según la clasificación de Thornthwaite, el clima se define como subhúmedo seco, mesotermal. Las lluvias disminuyen de este a oeste entre las isohietas de 700 a 500 mm (Puricelli, 1981).

En la Tabla 1 se observa el régimen mensual de precipitaciones y heladas, promedio de los últimos 20 años, además de la precipitación observada durante el ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo de sorgo utilizado en este estudio.

En la Tabla 2 observamos la temperatura, humedad relativa y las precipitaciones ocurridas durante los meses en que se desarrollaron los ensayos.

Tabla 1. Precipitaciones y heladas durante el ciclo de crecimiento del cultivo de sorgo granífero.

Ítem	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Total
Precipitación						
Mensual, mm	56	68	81	163	39	407
Normal, mm	72	78	72	68	95	385
Diferencia, mm	-16	-10	9	95	-56	22
Nº Heladas	2	2	0	0	2	6

Tabla 2. Temperatura mínima, media, máxima, humedad relativa y precipitaciones mensuales durante los meses de estudio.

Item	JUN	JUL	AGO	SEP
T° Mínima (°C)	1,9	2,9	1,1	3,8
T° Media (°C)	7,5	9,4	8,6	11,9
T° Máxima (°C)	13,3	15,8	16,6	20,1
H° Relativa (%)	75,2	76,9	68,2	75,7
Precipitaciones (mm)	6,5	18,5	4,5	31,5

4.1.3. Suelo.

El suelo, en su mayoría, es de textura franco arenosa a arenosa con limitaciones de profundidad (aproximadamente 60 cm. hasta la capa de calcáreo endurecida), baja retención hídrica, susceptible a la erosión eólica y bajo contenido de materia orgánica. Estas características determinan que se clasifique como capacidad de uso III (Gómez *et al.*, 1981).

4.2 Implantación del cultivo.

El híbrido seleccionado para realizar este estudio fue SG 9538, un híbrido de ciclo corto que se destacó por su alto rendimiento y producción de MS en los ensayos comparativos de cultivares realizados en la EEA Bordenave (Bolletta y Vallati, 2007). La fecha de siembra fue el 22/11/2005. Se sembró a una distancia de 42 cm entre líneas, con una densidad de 7 kg/ha. Fue fertilizado a la siembra con 25 kg/ha de fosfato diamónico y se realizó el control de malezas en preemergencia aplicando una dosis de 3 l/ha de atrazina líquida. En estado de 6 a 7 hojas se realizó un control de pulgón verde de los cereales mediante aplicación de Clorpirifós.

El cultivo logro implantarse en forma normal a pesar de que las precipitaciones registradas durante esta etapa estuvieron por debajo de la media. Si bien las precipitaciones totales ocurridas durante el mes de enero se encuentran por encima de la

media, durante el estadio de floración (segundo decadio del mes) solo se registraron 7 mm, con lo cual el cultivo presento síntomas de estrés durante esta fase, que posteriormente se tradujeron en un menor rendimiento de grano. La totalidad de la biomasa producida durante el ciclo de crecimiento, incluido el grano, fue diferida hacia el otoño para ser utilizada por los animales a partir del mes de junio de 2006. Para cumplir con el objetivo de este estudio se realizaron dos ensayos.

4.3 ENSAYO I. Respuesta productiva.

4.3.1 Animales y Tratamientos.

Doce novillitos A. Angus de 224 ± 8 Kg de peso vivo (PV), fueron estratificados por peso y asignados a cada uno de tres tratamientos en un diseño completamente aleatorizado. Los tratamientos consistieron en el suministro de dos fuentes distintas de proteína a los novillos que consumían el cultivo diferido de sorgo granífero (SGD) y un grupo control sin suplementación, los cuales fueron designados de la siguiente manera:

(1) Control (CON) = Pastoreo de Sorgo granífero diferido sin restricción.

(2) (GS) = SGD sin restricción + 1,257 Kg MS/d de grano de soja entero.

(3) (HG) = SGD sin restricción + 1,353 Kg MS/d de harina de girasol.

Ambos suplementos fueron calculados de manera de cubrir el desbalance de proteína degradable en el rumen (- 203 g/d) que se genera en el animal al suministrarle la dieta de sorgo granífero diferido. La cantidad de proteína bruta que proporcionan ambos suplementos es de 0,450 kg/día, lo que equivale al 70% de los requerimientos diarios de proteína total de un novillo de 250 kg PV que gana 700 gr/d (NRC, 2000). Si bien los animales de todos los tratamientos pastorearon en forma conjunta (Foto 1), los suplementos fueron suministrados en comederos individuales diariamente a las 9:00 h (Fotos 2, 3 y 4). Esto permitió utilizar a cada animal como una unidad experimental, y cada tratamiento contó con 4 repeticiones.



Foto 1: Vista del lote de sorgo granífero diferido, el cual fue pastoreado de manera frontal por los 12 novillitos en forma conjunta.



Foto 2: Vista de los corrales individuales en donde los novillos fueron encerrados diariamente mientras consumían el suplemento correspondiente.



Foto 3: Imagen de un animal correspondiente al tratamiento GS, consumiendo la ración diaria de grano de soja crudo y entero.



Foto 4: Imagen de un animal correspondiente al tratamiento HG, consumiendo la ración diaria de harina de girasol.

Luego de 15 días de adaptación a las dietas, el 31/05/2006 comenzó el experimento, extendiéndose hasta el 07/09/2006 por un lapso de 100 días.

El proceso de adaptación se utilizó para familiarizar a los animales con la dinámica del encierre diario en los corrales individuales y adaptarlos al consumo por separado de SGD y los suplementos.

Al momento de ingresar al ensayo los animales fueron desparasitados con Ivermectina 1% solución inyectable vía subcutánea y se les dió una dosis de 5 ml/animal de un complejo vitamínico comercial, con vitaminas A, B, D y E, y macro y micro elementos tales como Ca, Mg, Fe, Cu, Co, K y Na por la misma vía. Esta misma dosis del compuesto mineral se volvió a repetir en la mitad del ensayo el día 21/07/2006.

El sistema de pastoreo utilizado para el SGD fue frontal con cambios diarios, mediante el empleo de alambre eléctrico. Para asegurar un consumo de SGD sin restricciones se tuvo en cuenta en la asignación de forraje diaria un remanente de alrededor del 25% del forraje total al momento del ingreso de los animales a la parcela.

La superficie de los corrales individuales fue de 8 m², con piso de tierra y limitados por un alambre eléctrico perimetral (foto 2). El tiempo de permanencia de los animales en los corrales fue aproximadamente de una hora, antes de ser trasladados al lote de SGD. Los corrales fueron ubicados estratégicamente muy cerca del lote de pastoreo para facilitar los traslados y minimizar el incremento del gasto energético por movilización del animal.

4.3.2 Determinaciones.

Disponibilidad de MS y composición química del SGD.

Se recolectaron muestras de SGD en tres momentos distintos, de manera de abarcar todo el período de utilización del cultivo para detectar variaciones potenciales en su calidad nutritiva. En cada momento se tomaron tres muestras al azar, utilizando un marco de 1m². Las plantas de sorgo fueron cortadas al ras del suelo, tratando de conservarlas lo más enteras posible. Posteriormente las muestras se trasladaron al laboratorio y se secaron en estufa de aire forzado a 60°C durante 48 h.

Una vez registrado el peso seco y determinado el contenido de MS por diferencia, las muestras fueron seccionadas en sus partes morfológicas (tallo, hoja y panoja) y pesadas cada una de estas por separado para determinar las proporciones relativas.

Posteriormente las muestras se molieron a partículas de 1 mm de diámetro con un molino Wiley (Standard Model 4, Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA) y se realizaron los siguientes análisis:

- ❖ Proteína Bruta: $PB = g\ N/100g\ MS \times 6,25$ (método semi-micro Kjeldahl por destilación y titulación, AOAC, 1990).
- ❖ Fibra detergente neutro (Goering y Van Soest, 1970).
- ❖ Fibra detergente ácido (Goering y Van Soest, 1970).
- ❖ Lignina detergente ácido (Goering y Van Soest, 1970).
- ❖ Ceniza insoluble en ácido (Van Soest *et al.*, 1991).

Estos mismos análisis de calidad nutritiva fueron realizados sobre muestras que se tomaron de los suplementos proteicos suministrados a los animales: grano de soja y harina de girasol.

Consumo voluntario y eficiencia de conversión alimenticia.

Estas determinaciones se realizaron en condiciones de confinamiento, en los corrales individuales donde se les suministraba el suplemento. Para esto las plantas de sorgo granífero fueron diariamente cortadas a una altura entre 3 a 5 cm del suelo y suministradas enteras en forma individual a cada animal alojado en cada uno de los doce corrales. El forraje de SGD fue suministrado *ad libitum*; previamente los animales consumieron el suplemento asignado a cada tratamiento.

Los animales permanecieron en los corrales por períodos de 7 días consecutivos. En total se realizaron 4 períodos de evaluación. Las determinaciones correspondientes a cada período se describen a continuación.

El consumo voluntario de MS (CVMS) de SGD fue determinado por diferencia entre alimento ofrecido y remanente, pesando el forraje ofrecido y rechazado luego de 24 h. Diariamente se recolectó una muestra del forraje rechazado por cada uno de los doce novillitos del ensayo. Posteriormente, en dichas muestras, se determinó proporción de hoja, tallo y panoja, para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la composición del rechazo y establecer en consecuencia la proporción consumida de cada uno de los componentes del SGD. La eficiencia de conversión alimenticia (ECA), se determinó calculando la relación entre el consumo total de MS y la GDP.

Evolución de peso vivo.

Para determinar el peso inicial y final, se realizó una pesada con báscula mecánica individual al ingreso de los animales al lote de SGD en el mes de junio y otra

al finalizar el período de aprovechamiento de este recurso en el mes de septiembre. Las pesadas fueron sin desbaste y siempre a la misma hora. La GDP se determinó por diferencia entre el peso final e inicial.

Digestibilidad de la dieta.

La metodología empleada para evaluar la digestibilidad de la materia seca de la dieta (DMS) en cada tratamiento utilizó ceniza insoluble en ácido (CIA) como marcador interno (Van Soest *et al.*, 1991).

Para esto se recolectaron muestras recién excretadas de heces en cada corral, previo al suministro del suplemento. Este procedimiento de muestreo se repitió durante los siete días de cada período de evaluación, tomando un total de 7 muestras por animal por período. El muestreo de heces comenzó 48 h después de haber realizado la primera determinación de consumo, considerando a éste como tiempo de retención promedio del alimento en el tracto gastrointestinal. Luego de obtenida, la muestra fue colocada en estufa de aire forzado y secada a 60°C hasta peso constante para determinar MS de heces. Luego del secado, las muestras fueron molidas a partículas de 1 mm de diámetro con un molino Wiley y se realizó la determinación de CIA. La DMS se calculó de la siguiente manera:

$$\text{DMS (\%)}: 100 - 100 \times \frac{[\text{CIA}] \text{ dieta}}{[\text{CIA}] \text{ heces}}$$

En consecuencia con la determinación del CVMS y DMS se obtuvieron los siguientes parámetros:

$$\text{Consumo de materia seca digestible (CMSD)} = \text{Consumo (Kg MS/d)} \times \frac{\text{DMS(\%)}}{100}$$

$$\text{Producción total de heces (PTH)} = \text{Consumo (kg MS/d)} - \text{CMSD (kg MS/d)}$$

Proporción de grano entero de sorgo en heces.

Para determinar la proporción de grano de sorgo consumido que se recuperó entero en heces se utilizó una fracción sin moler de las muestras de heces obtenidas. Para separar los granos de sorgo las muestras de heces se pasaron por un tamiz; éste retuvo los granos mientras permitía que pasen el resto de las partículas. Posteriormente, el peso total de los granos retenidos en el tamiz fue referido al peso de la muestra de heces para establecer qué proporción de PTH representó en cada animal. A partir de este dato y el valor de PTH se pudo obtener la cantidad total de grano excretado por animal y por día. Finalmente, este valor fue referido a la cantidad total de grano consumida y, de esta manera, se obtuvo la proporción de grano que, aparentemente no fue digerido, y fue recuperado íntegramente en heces.

Parámetros Sanguíneos.

Se hicieron tres extracciones de sangre, al inicio del ensayo, en un punto intermedio y al finalizar el mismo. Las extracciones fueron realizadas mediante venopunción yugular a cada animal, siempre a la misma hora y previo al suministro del suplemento. La sangre extraída de cada animal fue colocada en un tubo y trasladada en una heladera portátil con gel refrigerante a un laboratorio privado. En todos los casos, para las determinaciones se empleó el plasma, para lo cual se realizó el centrifugado de cada muestra separando la porción plasmática de los glóbulos rojos. Los parámetros sanguíneos analizados fueron: Proteína total, Urea y Glucosa total mediante el método enzimático colorimétrico y, Calcio (Ca), Fósforo (P) y Magnesio (Mg) mediante el método espectrofotométrico. El objetivo de estas determinaciones fue emplear a estos parámetros como indicadores del estado general de salud de los animales y determinar si los tratamientos experimentales impuestos provocaban variaciones en los mismos.

4.3.3 Análisis estadístico.

Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM del programa SAS (2002), para un diseño completamente aleatorizado. El modelo planteado para el análisis de la información de evolución del peso vivo incluye los tratamientos, mientras que para parámetros sanguíneos, el modelo incluye el tratamiento, fecha de muestreo y la interacción entre tratamiento y fecha. El modelo planteado para el análisis de los datos obtenidos de consumo de SGD y sus fracciones, consumo total de MS, eficiencia de conversión, digestibilidad de la MS, consumo de MS digestible y proporción de grano entero de sorgo en heces incluye el tratamiento, período de evaluación y la interacción entre tratamiento y período. Cuando el test F resultó significativo ($p < 0,05$) para los efectos de tratamiento, se utilizó el test de diferencias mínimas significativas (DMS) como procedimiento para separar los valores medios. En el caso de existir valores perdidos se reportó el valor de la media mínima cuadrática.

4.4 ENSAYO II. Parámetros Ruminales.

4.4.1. Animales y tratamientos.

Para obtener información complementaria sobre los procesos metabólicos ruminales que contribuya a interpretar los efectos de los tratamientos, se condujeron estudios con tres novillos Aberdeen Angus de 550 kg PV provistos de cánula ruminal. Previo al inicio del ensayo, los animales fueron desparasitados con Ivermectina 1%, solución inyectable vía subcutánea y se les suministró una dosis de un complejo vitamínico mineral con vitaminas A, B, D y E, y macro y micro elementos tales como Ca, Mg, Fe, Cu, Co, K y Na. Los tratamientos utilizados fueron los mismos que en el Ensayo I, variando únicamente la cantidad de suplemento suministrada ajustada al peso, pero respetando las proporciones. De esta manera, quedaron definidas las dietas experimentales:

(1) Control (**CON**) = pastoreo de SGD sin restricción.

(2) (**GS**) = SGD sin restricción + 2,83 Kg MS/d de grano de soja entero.

(3) (**HG**) = SGD sin restricción + 3,21 Kg MS/d de harina de girasol.

Se dispuso un diseño experimental de cuadrado latino con tres tratamientos y tres períodos de evaluación, por lo que cada animal representaba un tratamiento en cada uno de los períodos, quedando asignados de la siguiente forma:

ANIMAL	A	B	C
PERIODO 1	HG	GS	CON
PERIODO 2	CON	HG	GS
PERIODO 3	GS	CON	HG

Cada período abarcó un total de 9 días. Los primeros 8 días fueron de adaptación a la dieta. En dicho período los novillos canulados pastorearon el SGD conjuntamente con los terneros del ensayo I, recibiendo por las mañanas el suplemento proteico correspondiente a cada tratamiento en comederos y corrales individuales para luego retornar inmediatamente al lote de sorgo. El día 9, se realizó el muestreo del licor ruminal, en cada novillo a las 2, 6, 12 y 24 horas posteriores a la ingesta del suplemento proteico. Inmediatamente después del muestreo se inició la fase de adaptación del período siguiente.

4.4.2. Determinaciones.

pH y Nitrógeno amoniacal.

Se extrajeron 250 ml de licor ruminal de cada animal. El líquido obtenido se filtró a través de cuatro capas de gasa e inmediatamente se midió pH, mediante un pH-metro Orión Research, modelo 201, calibrado previamente con soluciones buffer a pH 4,0 y 7,0. Posteriormente, para detener la fermentación microbiana, se mezclaron 50 ml del licor ruminal filtrado con 1 ml de una solución de ácido sulfúrico al 20% v/v, e inmediatamente refrigerado a -8°C hasta el momento de realizar las determinaciones analíticas previstas.

La determinación de N amoniacal fue realizada por destilación y ácido bórico para la recolección del destilado, la titulación se realizó con ácido clorhídrico 0,01 M según lo descrito por Preston (1995).

Ácidos grasos volátiles.

La determinación de las concentraciones de ácidos grasos volátiles (AGV) fue realizada en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad de Buenos Aires. La purificación de las muestras para AGV se realizó con ácido meta-fosfórico (25% en ácido sulfúrico 0,50 M) a razón de 0,5 ml por cada 2 ml de muestra y luego centrifugadas por 10 minutos a 10.000 rpm.

La determinación de AGV se realizó por cromatografía gaseosa con un equipo Konik-3.000 y una columna BP-20 (marca SGE) con N_2 como gas de transporte y según protocolo recomendado por el fabricante de la columna (Friggens *et al.*, 1998).

4.4.3 Análisis estadístico.

Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM del programa SAS (2002), para un diseño de cuadrado latino 3 x 3. El modelo planteado para el análisis de la información incluye el tratamiento, el período de evaluación, la hora de muestreo, el animal y la interacción tratamiento x hora de muestreo. Cuando el valor de F resultó significativo ($p < 0,05$) para los efectos de tratamiento u horario de muestreo, se utilizó el test de diferencias mínimas significativas (DMS) como procedimiento para separar los valores medios. En el caso de existir valores perdidos se reportó el valor de la media mínima cuadrática.

5. RESULTADOS

5.1 ENSAYO I. Respuesta productiva.

5.1.1. Disponibilidad de MS y composición fraccional del SGD.

En la Tabla 3 se observa la disponibilidad del cultivo de SGD (kg MS/ha) y la composición proporcional de las diferentes fracciones.

El 24,9% de los 7775 kg MS/ha de biomasa acumulada del cultivo de sorgo correspondió a la fracción panoja. Sin embargo, teniendo en cuenta las panojas sin grano y el material de la panoja que no es grano, sólo el 11% de la biomasa total del cultivo estuvo representado por grano de sorgo, lo que se traduce en solamente 858 kg/ha.

Tabla 3. Disponibilidad de MS y composición proporcional de las diferentes fracciones del cultivo de sorgo granífero diferido.

Disponibilidad (kg MS/ha)	7.775
Fracción (% MS)	
Hoja	42,7
Tallo	32,4
Panoja sin grano	13,9
Grano	11,0

5.1.2. Composición química de los componentes de la dieta.

Es importante tener en cuenta el contenido de grano de un cultivo de sorgo diferido, ya que ésta es la fracción de la planta de mayor valor nutritivo para el ganado bovino y, por ende, cuanto mayor sea el rendimiento en grano mayor será la calidad de todo el cultivo de sorgo. A continuación se muestra en la Tabla 4, la composición química de cada una de las fracciones de la planta de sorgo, mostrando las panojas sin grano en forma separada.

Tabla 4. Composición química porcentual de las fracciones de la planta de SGD.

Item	MS	FDN	FDA	LDA	PB
Hoja	78,9	66,8	36,1	2,7	5,9
Tallo	51,3	66,4	35,5	3,1	6,4
Panoja sin grano	87,9	67,0	33,1	4,4	9,0
Grano	87,3	27,8	12,5	4,3	12,4
Planta entera	71,6	62,4	33,0	3,2	7,2

Los datos de calidad nutritiva reportados en la Tabla 4 corresponden a un promedio de las determinaciones realizadas a muestras que se tomaron en tres momentos diferentes dentro del período experimental. Debido a que el cultivo de sorgo se encontraba en estado de senescencia, los valores de calidad se mantuvieron durante todo el período de utilización y es factible reportar un promedio de los mismos.

El contenido de MS del cultivo de sorgo diferido es superior al 70%, siendo las panojas y las hojas las fracciones que presentan los valores más elevados, tornándose estas últimas de aspecto apergaminado. Estos altos niveles de MS se alcanzaron luego de que el cultivo recibió el efecto de las primeras heladas a partir del mes de mayo y continuaron elevándose lentamente durante el transcurso de los meses de invierno.

Los valores de FDN, FDA y LDA son muy elevados en todos los componentes de la planta de sorgo, salvo en el grano, en el cual la mayor proporción de fibra se encuentra en el pericarpio.

En cuanto a los niveles de PB de los distintos componentes de la planta, el grano es la fracción que cuenta con una mayor proporción de la misma. El resto de la planta registra valores tan bajos que resultan limitantes para cubrir los requerimientos de novillos en crecimiento (NRC, 2000). De esta manera, el contenido de PB del total de la planta de sorgo supera levemente el 7%. La composición química de los concentrados proteicos utilizados se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Composición química porcentual de los concentrados proteicos utilizados.

Item	MS	FDN	FDA	LDA	PB
Harina de girasol	90,8	40,6	25,7	8,2	32,3
Grano de soja	89,0	26,0	14,2	3,9	35,6

5.1.3. Respuesta a los tratamientos experimentales.**Consumo voluntario, evolución del peso vivo y eficiencia de conversión alimenticia.**

La adaptación de los animales a la dieta fue rápida y no presentó inconvenientes.

Con respecto al consumo, no se observaron interacciones entre tratamiento y período de evaluación. En consecuencia, las medias de los tratamientos que se muestran en la Tabla 6 incluyen los cuatro períodos de evaluación descriptos previamente.

Tabla 6. Consumo de sorgo diferido de novillos alimentados con SGD y distintas fuentes de suplementación proteica.

Ítem	Tratamiento ¹				p=
	CON	HG	GS	EE	
Consumo SGD ² , kg MS/d	5,1 ^a	4,9 ^{ab}	4,6 ^b	0,10	0,0083
Consumo dieta total, kg MS/d	5,1 ^a	6,3 ^c	5,9 ^b	0,11	0,0000
Consumo SGD, % PV	2,2 ^a	1,9 ^b	1,8 ^b	0,04	0,0000
Consumo dieta total, % PV	2,2 ^a	2,4 ^c	2,3 ^b	0,04	0,0002

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de Girasol. ² Sorgo granífero diferido. EE= Error estándar. ^{a,b} tratamientos con letras distintas en la misma fila difieren (p <0,05).

En la Tabla 6, se observa que el consumo voluntario de materia seca (CVMS) de sorgo diferido disminuyó (p<0,01) en los animales que son suplementados con grano de soja con respecto al control, observándose un efecto de sustitución del forraje por grano de soja del orden de 0,4 kg de forraje/kg de suplemento suministrado; mientras que la dieta suplementada con harina de girasol no difiere significativamente del control.

El agregado de los suplementos proteicos a la dieta en los niveles citados previamente representa un 21,7% de la MS de la dieta total. Esto hace que el consumo

total de ambos tratamientos HG y GS, supere significativamente ($p < 0,01$) al consumo del tratamiento control; y que a su vez el grupo que recibe harina de girasol supere a aquel que consumió grano de soja.

La composición del forraje de sorgo diferido rechazado por los animales se muestra en la Tabla 7. Si se compara ésta con la información presentada en la Tabla 3, en la que se muestran las proporciones del material ofrecido, se puede apreciar claramente la selección que hacen los animales por las panojas y el grano de sorgo, dejando mayor proporción de hojas y tallos sin consumir.

Tabla 7. Composición proporcional de diferentes fracciones del rechazo de SGD.

Ítem	Tratamiento ¹			EE	p=
	CON	HG	GS		
Hoja, %	47,0	45,3	51,7	0,02	0,1082
Tallo, %	46,0	46,9	41,8	0,02	0,2426
Panoja sin grano, %	7,0	7,9	6,6	0,01	0,4122
Grano, %	0,0	0,0	0,0	0,00	-

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de girasol. EE = Error estándar de la media.

^{a,b} tratamientos con letras distintas en la misma fila difieren ($p < 0,05$).

No hubo efecto de los tratamientos sobre la composición del material rechazado por los animales. A partir de esta información se estimó el consumo de cada fracción (hoja, tallo, panojas y grano), para cada uno de los tratamientos impuestos en el ensayo. En la Tabla 8 se puede observar el consumo expresado en kg/d y en porcentaje del consumo total de sorgo.

Tabla 8. Consumo voluntario de MS de cada una de las fracciones del SGD.

Ítem	Tratamiento ¹				p=
	CON	HG	GS	EE	
Hoja, kg/d	2,10 ^a	2,08 ^a	1,78 ^b	0,06	0,0004
Hoja, %	41,07 ^{ab}	42,19 ^a	38,45 ^b	0,88	0,0174
Tallo, kg/d	1,41	1,30	1,30	0,06	0,3826
Tallo, %	27,77	26,37	28,61	0,98	0,2883
Panoja sin grano, kg/d	0,83	0,80	0,78	0,02	0,1889
Panoja sin grano, %	16,19	16,17	17,00	0,32	0,1449
Grano, kg/d	0,76	0,75	0,73	0,01	0,0726
Grano, %	14,97 ^a	15,25 ^a	15,92 ^b	0,22	0,0158

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de girasol. EE = Error estándar de la media.

^{a,b} tratamientos con letras distintas en la misma fila difieren ($p < 0,05$).

Se observa que el consumo de hoja en el tratamiento suplementado con grano de soja disminuyó ($p < 0,01$) con respecto a los tratamientos HG y CON. Para el resto de las fracciones de la planta de sorgo, no se observaron diferencias ($p > 0,05$) en el consumo entre los tratamientos evaluados. El consumo de PB, FDN, FDA de los componentes de la dieta y las proporciones que representan se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Consumo de PB, FDN y FDA proveniente del sorgo granífero diferido.

Ítem	Tratamiento ¹				p=
	CON	HG	GS	EE	
Proteína Bruta, kg/d	0,39 ^a	0,37 ^a	0,33 ^b	0,01	0,0005
FDN, kg/d	3,03 ^a	2,92 ^{ab}	2,69 ^b	0,07	0,0079
FDA, kg/d	1,57 ^a	1,51 ^{ab}	1,40 ^b	0,04	0,0123

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de Girasol. EE = Error estándar de la media.

^{a,b} tratamiento con letras distintas en la misma fila difieren ($p < 0,05$).

Estos resultados muestran que a consecuencia de un menor consumo de sorgo diferido, el consumo de PB, FDN y FDA a través del forraje en el tratamiento con grano de soja fue menor ($p < 0,01$) con respecto al control.

En la Tabla 10 se presentan los resultados de evolución del peso vivo y eficiencia de conversión alimenticia en respuesta a los tratamientos aplicados.

La asignación por peso vivo inicial de los novillitos a los tratamientos reveló homogeneidad dado que no presentaron diferencias ($p > 0,05$) en el peso inicial. La suplementación proteica aumentó ($p < 0,01$) las ganancias de peso en ambos tratamientos (HG y GS) con respecto al tratamiento CON, sin diferenciarse entre ellos. La GDP se incrementó con respecto al control en 110% y 134% para HG y GS, respectivamente. Obviamente, este incremento se vio reflejado en el peso final de los animales sujetos a suplementación, los cuales luego de 100 días de ensayo aventajaron al control en 38 y 41 kg, para los que recibieron harina de girasol y grano de soja, respectivamente.

Tabla 10. Evolución de peso vivo y eficiencia de conversión alimenticia de novillos que consumen SGD con o sin suplementación proteica.

Ítem	Tratamiento ¹			EE	p=
	CON	HG	GS		
Peso inicial, kg	222,3	227,5	223,0	4,11	0,6351
Peso final, kg	252,0 ^a	290,0 ^b	292,8 ^b	4,50	0,0002
GDP ² , g/d	298,0 ^a	625,0 ^b	698,0 ^b	28,00	0,0001
ECA*, kg/kg	17,1 ^a	9,9 ^b	8,3 ^c	0,03	0,0000

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de girasol. ² Ganancia diaria de peso.

EE = Error estándar de la media. ^{a,b} letras distintas en la misma fila difieren ($p < 0,05$).

* (Medias retransformadas con Ln por falta de homocedasticidad de la varianza).

Con respecto a la ECA, los valores medios que se informan son reconvertidos de la transformación de los datos originales a logaritmo natural, debido a la falta de homocedasticidad de varianza detectada. En la Tabla 10 se puede observar que el tratamiento GS fue más eficiente ($p < 0,01$) para convertir alimento en peso vivo que HG y ambos superaron a su vez al grupo control sin suplementar. La ECA aumentó en un 51 y 42% para GS y HG respectivamente, por lo que la suplementación proteica mejoró la

eficiencia de conversión. En este sentido es de destacar que este cambio en la ECA se debe más a los cambios de magnitud en la GDP que en el consumo de MS como puede verse en la Figura 1.

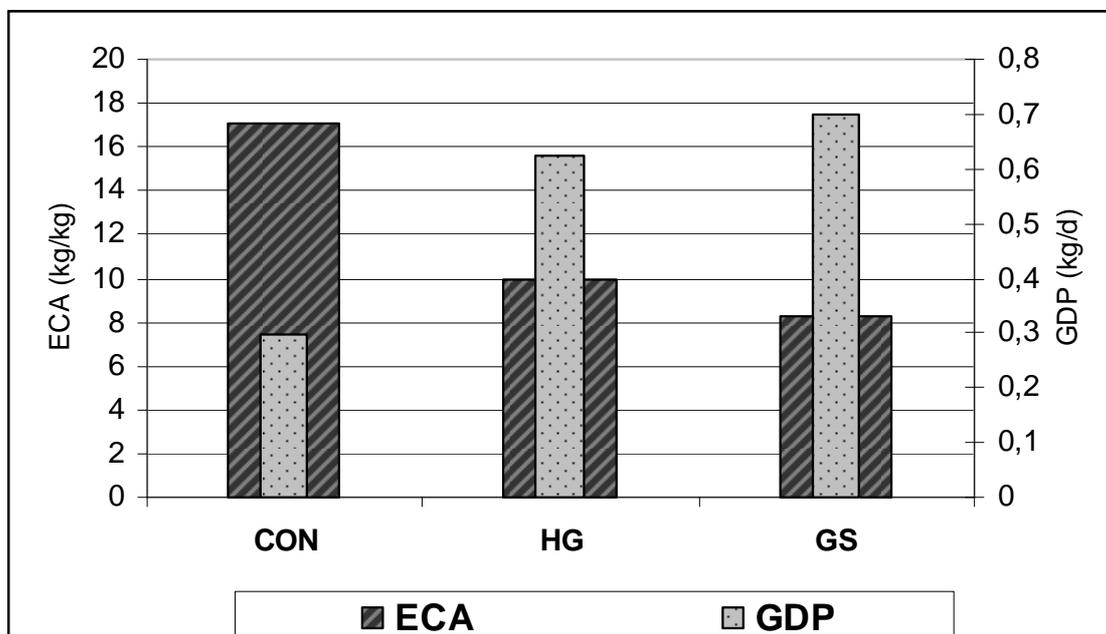


Figura 1. Eficiencia de conversión alimenticia y ganancia diaria de peso de novillos alimentados con SGD y distintas fuentes de suplementación proteica.

Digestibilidad de la dieta.

Con respecto a los resultados de digestibilidad de la MS, obtenidos mediante el uso de un marcador interno conocido como ceniza insoluble en ácido, se observaron diferencias ($p < 0,01$) entre los tratamientos, siendo mayor en los grupos HG y GS con relación al grupo control (Tabla 11). En este caso es posible afirmar que la dieta que contiene harina de girasol es 12% más digestible que la dieta control, mientras que la dieta con grano de soja supera al control en 17%. Esto hace que el consumo de MS digestible sea significativamente mayor ($p < 0,01$) con la adición de proteína suplementaria a la dieta, superando al control en 41 y 37% para los tratamientos HG y

GS, respectivamente, no observándose diferencias entre ambos tratamientos suplementados.

En lo que respecta a la proporción de grano de sorgo que pasa entero por el tracto digestivo y termina en las heces sin utilizarse, no se han hallado diferencias significativas ($p>0,05$) entre los distintos tratamientos. A pesar de esto se observa una marcada tendencia a pasar una mayor proporción de grano entero hacia las heces con el agregado de proteína a la dieta. La proporción media de grano que pasó por el tracto sin degradarse fue del 27%.

Tabla 11. Digestibilidad de la MS y proporción de grano de sorgo en heces de novillos alimentados con sorgo diferido y distintas fuentes de suplementación proteica.

Ítem	Tratamiento ¹				p=
	CON	HG	GS	EE	
DMS, %	53,3 ^a	59,8 ^b	62,5 ^b	1,13	0,0000
Consumo MS digestible, kg/d	2,7 ^a	3,8 ^b	3,7 ^b	0,08	0,0000
Grano de sorgo en heces, %	22,9	28,0	29,5	2,55	0,1915

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de Girasol.

EE= Error estándar. ^{a,b} letras distintas en la misma fila difieren ($p < 0,05$).

Parámetros Sanguíneos.

No se observó interacción tratamiento por fecha de muestreo ($p>0,05$) para las variables involucradas en el estudio. En la Tabla 12 se presentan los valores promedios de las tres fechas de muestreo para cada uno de los tratamientos.

Se observa que los valores de proteína total en suero sanguíneo se incrementaron ($p<0,05$) con el aporte de nitrógeno del grano de soja y de la harina de girasol, no hallándose diferencias entre ambos tratamientos suplementados. De la misma manera la concentración de urea en sangre aumentó con la suplementación proteica ($p<0,01$),

mostrando incrementos del orden del 115 y 145% con respecto al control, para los tratamientos HG y GS, respectivamente.

Tabla 12. Composición química del suero sanguíneo de novillos consumiendo SGD con o sin suplementación proteica.

	Tratamiento ¹				p =
	CON	HG	GS	EE	
Glucosa, mg/dl	77,1	82,1	80,3	1,65	0,1146
Proteína total, g/dl	6,27 ^a	6,56 ^b	6,57 ^b	0,08	0,0128
Urea, mg/dl	11,67 ^a	25,17 ^b	28,67 ^b	1,71	0,0001
Ca, mg/dl	10,84	10,56	10,93	0,14	0,1867
P, mg/dl	6,48 ^a	7,86 ^c	7,14 ^b	0,19	0,0001
Mg, mg/dl	2,08	2,12	2,06	0,05	0,7062

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de girasol.

EE = Error estándar de la media. ^{a,b} letras distintas en la misma fila difieren (p <0,05).

En cuanto a las concentraciones de macro elementos analizados, el único que muestra diferencias altamente significativas es el fósforo, siendo mayor (p<0,01) la concentración en los animales que reciben harina de girasol con respecto a los que consumen soja, y éstos a su vez superior al grupo control.

A pesar de que se encontraron diferencias significativas en proteína y urea a favor de los tratamientos suplementados, las concentraciones sanguíneas de estas variables en el grupo control se mantuvieron dentro de los valores de referencia, (Tabla 13; Boyd, 1984), por lo que los animales de este grupo se encontraban saludables y este estado no fue afectado por consumir exclusivamente SGD.

Tabla 13. Valores de referencia de parámetros sanguíneos.

Glucosa, mg/dl	42,0 – 75,0
Proteína total, g/dl	6,20 – 8,20
Urea, mg/dl	7,80 – 25,0
Ca, mg/dl	8,40 – 11,0
P, mg/dl	4,30 – 7,80
Mg, mg/dl	1,70 – 3,00

5.2 ENSAYO II. Parámetros ruminales.

5.2.1. Nitrógeno amoniacal.

La concentración de nitrógeno amoniacal muestra una interacción ($p < 0,01$) entre tratamiento y horario de muestreo, por lo que el efecto de los tratamientos se analizó para cada horario por separado (Tabla 14).

Tabla 14. Efecto de la dieta sobre la concentración de N-NH₃ (mg/dl) en fluido ruminal para cada horario de muestreo.

Hora	Tratamiento ¹				p=
	CON	GS	HG	EE	
2	5,45 ^a	11,64 ^b	22,65 ^c	0,18	0,0189
6	1,86 ^a	6,19 ^a	13,24 ^b	0,82	0,0201
12	1,24	4,95	6,81	1,50	0,2187
24	2,48	4,82	4,46	0,76	0,4283

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de Girasol.

EE = Error estándar de la media. ^{a,b} letras distintas en la misma fila difieren ($p < 0,05$).

La variación en la concentración de N-NH₃ a lo largo del día y las comparaciones de medias entre los diferentes horarios se observa en la Figura 2.

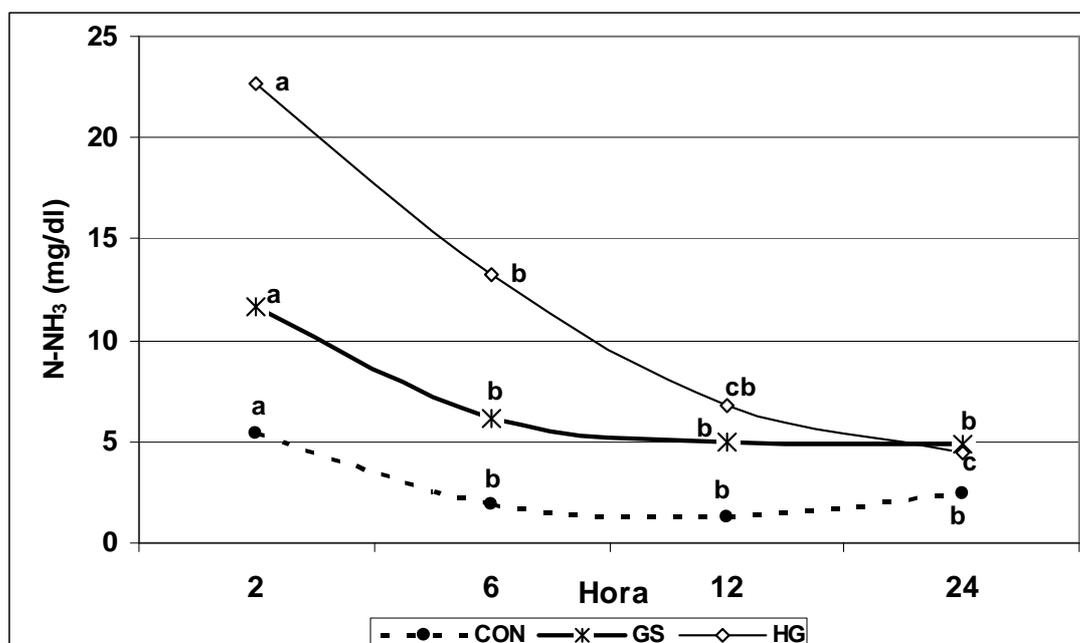


Figura 2. Relación entre la concentración N-NH₃ (mg/dl) en rumen y el tiempo transcurrido desde el suministro del suplemento para cada tratamiento experimental.

Como se observa en la Figura 2, la concentración de N-NH₃ aumentó significativamente ($p < 0,05$), inmediatamente después del suministro del alimento, independientemente de la dieta que recibieron los animales. Sin embargo, la magnitud del aumento varió con los tratamientos, siendo máxima a las 2 h comparado con horas subsiguientes. El aumento en la concentración de N-NH₃ fue de mayor magnitud en los tratamientos que recibieron el suplemento proteico además del forraje de sorgo, respecto al grupo control ($p < 0,05$), presentando a su vez una concentración mayor aquellos que consumieron harina de girasol (Figura 2). En comparación con el grupo control, la concentración de N-NH₃ se duplicó en aquellos animales suplementados con grano de soja y se cuadruplicó en los que recibieron harina de girasol luego de que transcurrieran 2 horas desde el suministro del alimento.

Luego del pico de concentración de N-NH₃ que se dió a las 2 horas, los valores comenzaron a disminuir paulatinamente a medida que transcurrió el tiempo, hasta el punto de que no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las distintas dietas una vez transcurridas las 6 horas posprandial. La concentración de N-NH₃ más baja fue observada alrededor de las 24 h, inmediatamente antes de la nueva comida.

5.2.2. pH y Ácidos Grasos Volátiles.

El pH promedio fue de $7,03 \pm 0,25$ y no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos (Tabla 15). La concentración de AGV total aumentó ($p < 0,05$) en el orden del 30% con el agregado a la dieta de harina de girasol, mientras que en la dieta con grano de soja si bien el nivel fue numéricamente más elevado, no alcanzó para diferenciarse significativamente del tratamiento control.

Tabla 15. Concentración de ácidos grasos volátiles en fluido ruminal de novillos suplementados con grano de soja y harina de girasol.

	Tratamiento ¹				p=
	CON	GS	HG	EE	
pH	7,11	7,02	6,97	0,05	0,1140
AGV, mmol/L					
Totales	53,1 ^a	57,8 ^a	68,1 ^b	3,65	0,0336
Acetato	40,0	41,4	49,2	2,57	0,0532
Propionato	9,1	11,9	13,7	1,26	0,0609
Butirato	4,0 ^a	4,5 ^a	5,2 ^b	0,24	0,0081

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de Girasol.

EE = Error estándar de la media. ^{a,b} letras distintas en la misma fila difieren ($p < 0,05$).

Al analizar la concentración de AGV en forma separada, se observó una importante tendencia a incrementar los niveles totales e individuales de los AGV en el tratamiento HG, salvo para el caso del butirato en el que se encontraron diferencias altamente significativas (Tabla 15).

La concentración total de AGV y su comportamiento en función del tiempo transcurrido desde el suministro del alimento (Tabla 16) mostró una marcada tendencia ($p=0,0543$) a aumentar inmediatamente después de consumida la dieta, llegando a determinar una media para los tres tratamientos de 70,2 mmol/L luego de 2 horas. A partir de este momento la concentración de AGV comenzó a decrecer durante el transcurso del día, presentando valores de 54,5, 58,9 y 55,2 para los horarios de muestreo de las 6, 12 y 24 horas, respectivamente.

Tabla 16. pH y concentración de ácidos grasos volátiles en fluido ruminal en función del tiempo transcurrido desde el suministro del alimento.

	Hora				EE	p=
	2	6	12	24		
pH	7,08	7,01	6,95	7,09	0,09	0,2498
AGV, mmol/L						
Totales	70,2	54,5	58,9	55,2	4,22	0,0543
Acetato	50,8	39,1	43,9	40,2	2,96	0,0514
Propionato	13,9	10,9	10,7	10,7	1,45	0,3480
Butirato	5,5 ^a	4,5 ^b	4,3 ^b	3,9 ^b	0,28	0,0059

En cuanto a las proporciones molares de los ácidos grasos volátiles, el ácido acético mostro una leve tendencia a disminuir su proporción en las dietas suplementadas con proteína en relación a la dieta control; mientras que para el caso del ácido propiónico la tendencia fue inversa. De esta manera, la relación acetato:propionato tendió a disminuir casi un 20% en los animales suplementados con grano de soja y harina de girasol (Tabla 17).

Tabla 17. Proporciones molares de ácidos grasos volátiles en fluido ruminal de novillos suplementados con grano de soja y harina de girasol.

	Tratamiento ¹			EE	p=
	CON	GS	HG		
AGV, mol/100 mol.					
Acetato	75,3	71,5	72,6	1,18	0,1002
Propionato	17,2	20,4	19,8	0,99	0,0805
Butirato	7,5	8,1	7,6	0,39	0,6089
Relación A:P	4,5	3,7	3,8	0,24	0,0717

¹ CON = Control, GS = Grano soja, HG = Harina de Girasol.

EE = Error estándar de la media. ^{a,b} letras distintas en la misma fila difieren (p < 0,05).

Las proporciones molares medias por horario de muestreo se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Proporciones molares de ácidos grasos volátiles en función del tiempo transcurrido desde el suministro del alimento.

	Hora*				EE	p=
	2	6	12	24		
AGV, mol/100 mol.						
Acetato	73,1	71,8	74,8	72,9	1,37	0,5211
Propionato	19,1	19,8	18,0	19,6	1,14	0,7107
Butirato	7,8	8,4	7,2	7,5	0,45	0,3404
Relación A:P	4,1	3,7	4,3	4,0	0,28	0,4964

* Indica el horario de muestreo luego de haber ingerido el alimento.

EE = Error Estándar, ^{a,b} letras distintas en la misma fila difieren ($p < 0,05$).

Las proporciones molares de los distintos ácidos grasos volátiles evaluados y la relación acético:propiónico se mantuvieron constantes y no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) a través de los diferentes horarios de muestreo en los tres tratamientos evaluados.

6. DISCUSIÓN

6.1 ENSAYO I. Respuesta productiva.

6.1.1. Disponibilidad de MS y composición fraccional del SGD.

El valor de producción de biomasa total fue similar a lo obtenido por este mismo cultivar en evaluaciones realizadas para las campañas 2005/2006 y 2006/2007 de 8.236 kg MS/ha según datos de la red de ensayos comparativos de rendimiento de la EEA INTA Bordenave (Bolletta y Vallati, 2007). En lo que respecta al rendimiento de grano, se encontró muy por debajo del promedio de las últimas dos campañas que resultaron en 3.543 kg/ha (43% del total de MS del cultivo). Es probable que el déficit de agua en el suelo ocurrido durante la etapa de floración, haya provocado un importante aborto de flores y, en consecuencia, una disminución en el rendimiento de grano llegando al final del ciclo del cultivo con una gran proporción de macollos conteniendo panojas sin grano.

6.1.2. Composición química de los componentes de la dieta.

El forraje presentó valores elevados de MS, FDN, FDA y LDA, como consecuencia del avance en el estado de madurez de las plantas y acorde a lo esperado para un cultivo de verano diferido al período invernal. Estos resultados son coincidentes con lo descrito previamente por Arelovich (2003), quien reporta valores de FDN y FDA cercanos al 70 y 44% respectivamente. Este elevado contenido de fibra, propio de un cultivo diferido, obviamente indica mayor proporción de pared celular en detrimento del contenido celular más digestible.

En lo que respecta al contenido de PB, el grano es el componente de la planta que presenta la mayor concentración. Así, la concentración de PB fue del 12% para esta fracción, mientras que la hoja y el tallo registraron valores cercanos al 6%. Esta es una

de las principales razones por las cuales es conveniente diferir cultivos de sorgos graníferos con alta proporción de grano con referencia a híbridos forrajeros constituidos mayoritariamente por tallos y hojas.

Debido a condiciones climáticas que se presentaron durante el desarrollo del cultivo, la proporción de grano en nuestro estudio no superó el 11% de la MS total. De esta manera, el nivel de PB de la planta entera resultó en valores promedio del 7%, siendo esto insuficiente para cubrir los requerimientos de novillos con altas tasas de crecimiento. Sin embargo, estos valores en planta entera podrían resultar suficientes para el mantenimiento de vacas de cría con un índice de condición corporal de 5, en la escala de 1 a 9 (NRC, 2000).

Estos aspectos confirman la importancia de la incorporación de nitrógeno a través de suplementos proteicos que, simultáneamente con los carbohidratos solubles provenientes del almidón contenido en los granos de sorgo, mejorarían la síntesis de proteína microbiana, la digestión de la fibra y la respuesta animal (McCollum y Horn, 1990; Wallace, 1991; Jones *et al.*, 1996; Dixon y Egan, 2000).

El contenido de PB de la harina de girasol suministrada fue inferior a los valores tabulados en el NRC (2000). Esto se debió probablemente a la alta proporción de cáscara presente en el suplemento, la cual es incorporada en la industria aceitera durante el proceso de extracción. A mayor contenido de cáscara en la harina de girasol, disminuye proporcionalmente el contenido de PB, por lo que es esperable también que la PB resulte más variable en la harina de girasol que en el grano de soja entero. En contrapartida, los niveles de FDN, FDA y Lignina se incrementan substancialmente cuando aumenta el contenido de cáscara de la harina de girasol (García *et al.*, 2003).

6.1.3. Respuesta a los tratamientos experimentales.

Consumo voluntario, evolución del peso vivo y eficiencia de conversión alimenticia.

En principio se observó una gran selectividad y preferencia hacia las panojas de sorgo, tanto en pastoreo como cuando se realizaron las evaluaciones en los comederos. El grano de sorgo se consumió en primer lugar y en la totalidad de lo que fue ofrecido diariamente. De esta manera, el material que no fue consumido y que conformó el rechazo, quedó constituido por hojas y tallos en una proporción relativa de 48 y 45%, respectivamente, quedando un remanente de 7% constituido por panojas que no contenían grano.

El consumo voluntario de SGD disminuyó en el tratamiento que recibió grano de soja entero con respecto al grupo control, provocando un efecto de sustitución por grano de soja del orden de 400 g de forraje por cada kg de suplemento suministrado. No se observó un efecto de sustitución en el tratamiento suplementado con harina de girasol, por lo que en este caso el consumo de SGD se mantuvo similar al testigo. Cuando el consumo de sorgo se expresa como porcentaje del peso vivo, ambas dietas suplementadas con proteína registran un menor consumo de forraje ($p < 0,01$) en relación al grupo control. Judkins *et al.* (1987) observaron una tendencia a disminuir el consumo de forraje base cuando se suplementó a novillitos de similar peso y edad a los utilizados en el presente estudio con pellets de alfalfa o torta de algodón. En este caso particular, el forraje base estaba constituido por una pastura diferida de *Blue Grama (Bouteloua gracilis)* con 11,5% de PB. De la misma manera, Huston *et al.*, 1999 observó una disminución en el consumo de forraje de un pastizal nativo constituido por varias especies cuando suplemento a vacas preñadas con 0,91 kg MS de harina de algodón suministrado diariamente, o su equivalente 3 veces o 1 vez por semana.

Ahora bien, en la bibliografía existen numerosos ensayos de suplementación proteica de forrajes de baja calidad, cuyos resultados no concuerdan con los obtenidos en el presente estudio ni en los descriptos previamente y que, por el contrario, muestran un aumento en consumo de la dieta basal por encima de los valores observados en el control (Caton *et al.*, 1988; Del Curto *et al.*, 1990b; Del Curto *et al.*, 1990c; Sanson *et al.*, 1990; Sunvold, *et al.*, 1991). Así, McCollum y Galyeen (1985) observaron un incremento significativo en el consumo de heno de baja calidad (6% PB) al suplementar con 800 g diarios de harina de algodón a novillitos de un peso similar a los utilizados en nuestro estudio. De la misma manera, Church y Santos (1981) y Arelovich *et al.* (1992), observaron un aumento en el consumo de paja de trigo (3,8% PB) y de pasto llorón diferido, respectivamente, cuando a estos forrajes se los suplementó con harina de soja.

La característica en común que tienen estos trabajos en los que se observa una respuesta positiva al consumo de forraje es que todos presentan un contenido proteico inferior al del SGD utilizado en nuestro estudio. Según una recopilación de varios trabajos realizada, McCollum y Horn (1990), manifiestan que si bien las respuestas al consumo de forraje son altamente variables para cada nivel de PB del forraje, la magnitud de la respuesta aumenta cuando el contenido proteico del forraje disminuye y son prácticamente nulas cuando el forraje alcanza valores de 10 a 11% PB. Como resultado de éste y otros reportes (Jones *et al.*, 1996), el rango de 6 a 8% de PB se ha convertido en una medida estándar a partir de la cual comienza a ser necesaria la suplementación proteica. Dentro de este rango se encuentra el forraje en estudio, por lo que la respuesta obtenida con los suplementos utilizados se encontraría dentro de lo esperable.

En referencia al consumo de la dieta total, los tratamientos suplementados superaron al control. Esto es debido a que el consumo de SGD en el tratamiento con

harina de girasol se mantuvo igual al control y en el tratamiento con grano de soja la caída en el consumo de forraje fue de menor magnitud que la cantidad suplementada. Este aumento en el consumo total en los tratamientos GS y HG puede explicarse también por un incremento en la tasa de pasaje del contenido ruminal como consecuencia de una mejora en su medio ambiente (McCollum y Galyean, 1985), provocado por el mayor aporte de nitrógeno y materia seca rápidamente fermentable al rumen. Cuando el contenido ruminal es retenido por mayor tiempo, como supuestamente debe haber ocurrido en el control, permite que la distensión ruminal alcance niveles críticos que resultan limitantes para el consumo (Van Soest, 1994).

En cuanto a la evolución del peso vivo, la suplementación proteica incrementó las ganancias de peso en 0,33 y 0,40 kg/d con respecto al tratamiento sin suplementación, logrando de esta manera una tasa de conversión de 4,2 y 3,2 kg de suplemento/kg de ganancia adicional para el tratamiento HG y GS, respectivamente.

Según McCollum y Horn (1990), tasas de conversión como las obtenidas en nuestro estudio estarían indicando la existencia de una deficiencia de N a nivel ruminal cuando los animales consumen únicamente sorgo granífero diferido. De esta manera, el mayor aporte de N en los tratamientos suplementados, dado por el consumo de los suplementos corregiría esta deficiencia, con lo cual se incrementaría la tasa y extensión de la digestión y el flujo de proteína microbiana y proteína no degradable hacia el intestino delgado, mejorando el *estatus* de N del animal hospedante (McCollum y Horn, 1990). Esto podría explicar la respuesta observada en la ganancia de peso.

Respuestas similares han sido reportadas por otros estudios con la adición de fuentes de proteína natural a forrajes fibrosos de baja calidad (Cochran *et al.*, 1986; Judkins *et al.*, 1987; Del Curto *et al.*, 1991). Así, Cochran *et al.* (1986), suministrando un suplemento proteico a base de harina de algodón a vacas preñadas que pastoreaban

un pastizal natural de 3% PB durante el invierno, reportaron un incremento adicional en las ganancias de peso de 0,30 kg/d y una tasa de conversión de 3:1, para las vacas que recibieron el suplemento. Además, estos animales mantuvieron la condición corporal durante los 3 meses del período invernal, mientras que aquellas que consumieron solamente la pastura natural registraron un menor peso y condición corporal al finalizar el invierno.

Al parecer, las diferencias en ganancia de peso entre el control y los tratamientos suplementados son aún mayores cuando se suplementa a forrajes de menor contenido de N que el sorgo granífero diferido. Para el caso del pasto llorón diferido (2,3% de PB), Arelovich *et al.*, (1987) reportaron un incremento en la ganancia de peso de 0,36 kg/d, con respecto a los novillos que no recibieron el suplemento, con una tasa de conversión de la harina de girasol de 2,5:1, superior a las obtenidas en nuestro estudio.

Las tasas de crecimiento registradas tanto para el tratamiento HG como para el GS, permitirían llevar adelante un período de engorde corto no más allá de los 12 meses. El forraje diferido de sorgo granífero sin suplementación proteica condujo a ganancias de peso que apenas alcanzaron los 300 g/d.

No se detectaron diferencias entre las fuentes de proteína utilizadas, por lo que la elección entre ambas debería ser evaluada desde el punto de vista económico. Los resultados de respuesta productiva obtenidos en este ensayo confirman la hipótesis de que la suplementación con grano de soja y harina de girasol a forrajes como el sorgo granífero diferido, promueve la tasa de crecimiento animal.

Las bajas ganancias de peso registradas en el tratamiento control hacen que los animales que consumen una dieta exclusiva de SGD resulten más ineficientes para convertir el alimento en carne, mostrando una ECA por encima de 17:1. El agregado de proteína a la dieta mejoró drásticamente la eficiencia con que se transforma el alimento

en carne, ya que con un leve aumento en el consumo de MS total se produjo un incremento de más del doble en las ganancias de peso con respecto al grupo control. De esta manera, la eficiencia de conversión aumentó a 8,3 y 9,9 cuando se adicionó a la dieta basal grano de soja entero o harina de girasol, respectivamente. Así se confirma la hipótesis de que la suplementación proteica mejora la ECA.

Digestibilidad de la dieta.

La digestibilidad de la MS del SGD (determinada mediante el uso de CIA como indicador) fue equivalente a 53,3%. Este valor de digestibilidad se corresponde con menores ganancias de peso observadas en el grupo control, comparadas con los tratamientos suplementados. Este resultado se encuentra directamente relacionado con la composición química de este tipo de forraje.

El forraje diferido de sorgo granífero se caracteriza por tener un alto contenido de paredes celulares lignificadas. Los resultados obtenidos en este ensayo mostraron valores de FDN, FDA y LDA del 62,4; 33,0 y 3,2%, respectivamente. La mayor concentración de lignina fue determinada en las panojas de sorgo, seguida por los tallos y las hojas; pero el aporte realizado a la concentración de lignina total por cada una de estas fracciones fue similar, a causa de la baja proporción de grano. La lignina es el principal factor responsable de la disminución en la digestibilidad de la fibra ya que interfiere con la digestión de los polisacáridos de la pared celular tales como celulosa y hemicelulosa, actuando como barrera física para las enzimas microbianas (Hoover, 1986; Buxton y Redfearn, 1997; Moore y Jung, 2001). La lignificación tiende a ser más intensa en tejidos estructurales tales como xilema y esclerénquima. La proporción relativa de los tejidos y órganos lignificados aumenta a medida que la planta madura, por lo que existe una relación negativa entre madurez y digestibilidad (Moore y Jung,

2001). Esta es la razón por la cual la planta de sorgo presenta valores de digestibilidad más bajos cuando se utiliza como diferido que en estados más tempranos de madurez.

Otro de los componentes que podría estar afectando la digestibilidad de la MS son los taninos condensados (TC) contenidos en el grano de algunos genotipos de sorgo, a través de la formación de complejos indigestibles con las proteínas del grano (Schaffert *et al.*, 1974) o incluso inhibiendo la fermentación ruminal de carbohidratos tales como almidón, celulosa, hemicelulosa y pectinas (Barry y Manley, 1986; McSweeney *et al.*, 2001). La concentración a partir de la cual comienzan a producirse estos efectos negativos sería de 40 g/kg de MS (Min y Hart, 2003).

Si bien el híbrido utilizado en nuestro estudio se encuentra caracterizado como de alto tanino, la concentración de TC de la mayoría de los híbridos que se encuentran actualmente en el mercado incluido este mismo, no superan los 18g/kg MS (Massigoge, *et al.*, 2008). Sumado a esto, la proporción de grano en el cultivo utilizado no superó el 11% del total de MS, por lo que se deduce que el forraje de sorgo consumido por los animales tendría una concentración no mayor a 2 g/kg MS, por lo que se podría concluir que la concentración de TC del sorgo diferido no influiría sobre el proceso de digestión de los novillos que consumen este forraje.

En nuestro estudio la incorporación de un suplemento proteico al forraje de sorgo, aumentó la digestibilidad de la MS de la dieta con respecto a la dieta sin suplementar, pasando del 53,3% al 59,8 y 62,5% para los tratamientos CON, HG y GS, respectivamente. La diferencia en la digestibilidad de la dieta observada entre las distintas fuentes de proteína (grano de soja o harina de girasol) no llegó a ser significativa. Estos resultados confirman la hipótesis de que la suplementación proteica en forrajes diferidos de sorgo granífero mejora la digestibilidad de la MS y se corresponden a su vez con los resultados presentados en trabajos previos de

suplementación proteica a forrajes de baja calidad (Koster *et al.*, 1996; Dixon y Egan, 2000; Bandyk *et al.*, 2001).

Ahora bien, el mero hecho de incluir un suplemento de mayor digestibilidad en la dieta no es suficiente para explicar por sí solo el incremento observado en la digestibilidad de ambas dietas suplementadas. Evidentemente la inclusión de los suplementos provocó además una mejora en la digestibilidad de la MS del forraje de sorgo diferido, a través de un incremento de la concentración de nitrógeno amoniacal en el rumen, lo cual optimiza el crecimiento y desarrollo de microorganismos celulolíticos (Hoover, 1986).

De esta manera, la mayor digestión observada en ambas dietas suplementadas podría haber acelerado la tasa de recambio ruminal, disminuyendo el tiempo de retención del forraje en el rumen (McCollum y Galyean, 1985). En consecuencia, las posibilidades que tiene el grano de sorgo de ser masticado durante la rumia disminuyen, lo que explicaría la tendencia no significativa a excretar una mayor proporción de grano de sorgo entero en los tratamientos GS y HG.

La técnica de utilización de sorgo diferido presentada en nuestro trabajo no contempla ningún tipo de procesado del grano antes de ser consumido por los animales. Stritzler *et al.* (1982) determinaron que el 53% de los granos llegan al rumen enteros cuando estos son consumidos sin ningún tipo de procesado y que en esta condición el grano no pierde más del 10% de su peso tanto en el rumen como cuando atraviesa el tracto digestivo. Esto da como resultado que aproximadamente el 48% de los granos de sorgo consumidos son excretados enteros en las heces.

Los resultados hallados en nuestro trabajo no coinciden con lo observado por Stritzler *et al.* (1982) y, por el contrario, muestran menores pérdidas de grano entero en heces. Una posible explicación para esta discrepancia puede ser atribuida al tipo de

forraje fibroso y grosero (tallos y hojas del sorgo diferido) que acompañó en la dieta al grano de sorgo, lo que podría traducirse en un mayor tiempo de rumia, dando mayores posibilidades al grano de que pueda ser masticado por el animal.

Si analizamos en conjunto los resultados obtenidos vemos que el incremento en el consumo de la dieta que se produce con la adición de N está asociado a un aumento en la digestibilidad de materia seca en los tratamientos GS y HG. Esto resultó en un importante incremento en las ganancias de peso que duplicaron lo registrado en el grupo testigo que consumía únicamente sorgo diferido. A pesar de esto es importante destacar la ganancia de peso observada de 300 g/d en el tratamiento control, con un nivel de consumo que no superó el 2,2% del PV, una digestibilidad del 53% y un contenido de proteína del 7%.

Parámetros Sanguíneos.

La concentración de glucosa en plasma sanguíneo fue constante entre tratamientos mostrando un promedio de 79,8 mg/dl.

Los niveles de urea y de proteína en suero sanguíneo aumentaron con el agregado de los suplementos a la dieta base de sorgo diferido. Probablemente el incremento de urea y proteína total respondió a la mayor disponibilidad de proteína degradable y a la mayor absorción de aminoácidos, respectivamente. A pesar de que el grupo control presentó valores inferiores de proteína y urea, estos siempre se mantuvieron dentro de los rangos de referencia para este tipo de animales (Boyd, 1984).

Otro de los parámetros en los que se observa un efecto de los tratamientos es el nivel de P, el cual se presenta en mayor proporción en los animales suplementados con harina de girasol y con grano de soja. El aumento en los niveles de P en sangre en los

animales suplementados es atribuible al aporte adicional de P en ambos suplementos (NRC, 2000).

6.2 ENSAYO II. Parámetros ruminales.

6.2.1. Nitrógeno amoniacal.

Existe una interacción entre tratamiento y hora de muestreo. Si bien se produjo un aumento en la concentración de N-NH₃ inmediatamente después del suministro diario de alimento, tanto para el grupo control como para los tratamientos suplementados, este incremento fue significativamente superior en el tratamiento HG seguido por GS y el tratamiento control, en el cual se observan los niveles de N-NH₃ más bajos. Estos resultados concuerdan con aquellos reportados por McCollum y Galyean (1985); DelCurto *et al.* (1990a); Koster *et al.* (1996); Baumann *et al.* (2004) y Salisbury *et al.* (2004); y confirman la hipótesis de que la suplementación proteica incrementa la concentración ruminal de N-NH₃.

A pesar de las diferencias en los valores de N-NH₃ observados en las distintas dietas 2 h después de ser suministradas, en los tres tratamientos se hallaron valores superiores a la concentración óptima de amoníaco en rumen (5 mg/dl) que maximiza la tasa de crecimiento bacteriano (Satter y Slyter, 1974). Los niveles óptimos de amoníaco aseguran un ambiente ruminal que promueve el crecimiento de microorganismos y mejora la eficiencia de degradación del alimento.

Luego del pico de N-NH₃ observado a las 2 h, la concentración de amoníaco declinó a medida que fue absorbido por la célula microbiana para la síntesis de aminoácidos (Smith, 1979) o por la pared ruminal, detectándose los valores más bajos al siguiente día previo a la entrega de la nueva comida. Nuevamente en este caso, la disminución es más abrupta en los tratamientos HG y GS con respecto al control. Este

comportamiento parece ser característico cuando se utiliza proteína de origen vegetal de alta degradabilidad ruminal como son las harinas de soja y girasol en las que suelen alcanzarse máximos de N-NH₃ en el rumen entre 3 a 5 horas luego del suministro (Rochinotti *et al.*, 2002). En este sentido, el NRC (2000) reporta valores de degradabilidad de la proteína de 75% para la soja y 74% para la harina de girasol.

El crecimiento microbiano depende además de una fuente de carbohidratos rápidamente solubles para suministrar ATP para la biosíntesis de material celular (Nocek y Russell, 1988). Para optimizar la tasa de crecimiento, la tasa de producción de ATP debe ser igual a su utilización, favoreciendo los procesos de fermentación (Hespell y Bryant, 1979). En este punto cobra una importancia relevante el aporte de energía al rumen a través de la fermentación ruminal del almidón de los granos de sorgo proveniente del SGD consumido por los animales, y el aporte de materia seca rápidamente fermentable que también hacen los suplementos proteicos; lo cual contribuye a mejorar la utilización de las altas concentraciones de N-NH₃ liberadas al rumen tras la degradación de la proteína suplementaria en los tratamientos HG y GS (Hoover y Stokes, 1991).

Los niveles de N-NH₃ en el rumen de las dietas que contienen grano de soja y harina de girasol se mantuvieron por encima de la concentración óptima citada previamente, aún después de 24 h de haber consumido el suplemento; mientras que el grupo control comenzó a registrar niveles limitantes para el normal crecimiento bacteriano a partir de las 6 horas del suministro del alimento y continuó por debajo del límite hasta el día siguiente en que nuevamente se suministró el alimento. Estas diferencias entre la concentración de N-NH₃ de los tratamientos suplementados y el control pueden relacionarse con el mayor porcentaje de digestión observado en los

tratamientos HG y GS, por lo que se infiere que la mejora en el medio ambiente ruminal se tradujo en una mayor tasa de degradación del alimento en el rumen.

6.2.2. pH y Ácidos Grasos Volátiles.

El valor de pH promedio entre los diferentes tratamientos y horarios de muestreo fue de 7,03, no hallándose diferencias significativas entre tratamientos u horarios de muestreo. Este valor de pH ruminal se encuentra por encima del valor umbral de 6, citado por Owens y Goestch (1988), por debajo del cual podría verse afectado el número y/o la actividad de las enzimas microbianas celulolíticas.

Es sabido que las variaciones en el pH generalmente están relacionadas a cambios en la concentración de AGV. A medida que la producción de AGV en rumen aumenta como consecuencia de una mayor cantidad de alimento rápidamente fermentable, el pH ruminal comienza a disminuir (Owens y Goestch, 1988).

En este sentido, existió una tendencia a disminuir los valores de pH cuando se suplementó al animal con grano de soja o harina de girasol, la cual se correspondió con una mayor concentración de AGV totales en el fluido ruminal de los animales que recibieron los suplementos. El tratamiento HG registró el mayor aumento en la concentración de AGV inmediatamente después del consumo del suplemento, superando inclusive a lo observado con el grano de soja. Esto podría estar relacionado con una más rápida degradación de la harina de girasol en el rumen.

Resultados como éstos en los que a medida que se incrementa la proporción de proteína de alta degradabilidad ruminal en la dieta aumenta la concentración de AGV totales han sido reportados previamente en numerosos trabajos (Stokes *et al.*, 1991; Aldrich *et al.*, 1993; Koster *et al.*, 1996). Dichos estudios mencionan la importancia del aporte que hace este tipo de proteína al crecimiento de la masa bacteriana, mejorando la digestión de la FDN y la MS y, en consecuencia, aumentando la producción de AGV.

La producción de AGV a lo largo del día siguió un patrón similar al de la concentración de N-NH₃ observada, produciéndose un importante incremento luego de haber sido consumidos los suplementos, alcanzando un máximo de 70,2 mmol/l a las 2 horas, para ir luego disminuyendo paulatinamente a medida que fueron absorbidos a través de las paredes del rumen. Si bien estas diferencias no alcanzaron a ser significativas, marcaron una importante tendencia, lo que estaría indicando que durante ese momento del día existió una mayor disponibilidad de sustrato para ser fermentado por los microorganismos del rumen.

En cuanto a las proporciones relativas de AGV, el ácido acético fue el principal componente con valores por encima de 70 moles/100 moles, seguidos por los ácidos propiónico y butírico con un promedio de 19,1 y 7,7 moles/100 moles, respectivamente. Está ampliamente documentado que con dietas que contienen una alta proporción de forrajes fibrosos, tal es el caso del SGD, se originan mezclas de AGV que contienen una elevada proporción de ácido acético; mientras que la adición de concentrados a los forrajes aumenta la proporción de ácido propiónico a expensas del ácido acético (Beever, 1993; Fahey y Berger, 1993).

En este sentido, la incorporación de concentrados proteicos a la dieta, tales como el grano de soja y la harina de girasol, mostraron una tendencia a aumentar la proporción relativa de propionato y, en consecuencia, disminuir la proporción de acetato, con respecto al control sin suplementación. La proporción molar de butirato se mantuvo sin cambios entre las distintas dietas.

Varios trabajos han reportado un aumento significativo en la proporción relativa de propionato y la consecuente disminución en la proporción de acetato con el agregado de proteína rápidamente degradable en el rumen (McCollum y Galyean, 1985; Koster *et al.*, 1996; Baumann *et al.*, 2004). Una manera más clara de observar la magnitud de este

cambio es a través de la relación entre las proporciones molares de los ácidos acético y propiónico (A/P). En nuestro estudio hemos observado una disminución de aproximadamente un 20% en esta relación cuando se le agregaron los suplementos proteicos al forraje base de SGD.

El propionato juega un rol fundamental como precursor de la glucosa en los rumiantes (Bergman, 1975) y promueve cambios a nivel hormonal que influyen sobre la tasa de crecimiento y las ganancias de peso de los animales (Brockman y Laarveld, 1986). Es difícil de determinar si la magnitud del cambio en las proporciones de AGV observadas en este estudio podría haber provocado un cambio en el metabolismo energético de los novillos suplementados, que haya influido sobre la respuesta productiva observada en los tratamientos que fueron suplementados con proteína; pero sí se puede afirmar que con proporciones relativamente bajas de concentrados proteicos en la dieta de forrajes de baja calidad se pueden provocar cambios en los productos de la fermentación ruminal.

7. CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS

La suplementación con fuentes de proteína de alta degradabilidad ruminal puede mejorar la eficiencia de utilización de la dieta y el consumo de materia seca, frecuentemente limitado en forrajes de baja calidad como el sorgo granífero diferido y, en consecuencia, incrementar la respuesta productiva en novillos en crecimiento. Mayores concentraciones de N-NH₃ y AGV totales, además de una tendencia en la relación A:P demostraron el efecto beneficioso del grano de soja y la harina de girasol sobre la eficiencia de utilización de la dieta. El sorgo granífero diferido sin suplementación podría utilizarse para mantenimiento o ganancia moderada por animales con requerimientos similares a los novillos de este experimento. En este caso debe esperarse una baja eficiencia de conversión, lo que implicaría mayor disponibilidad de MS de SGD/animal/d, con impacto negativo sobre la carga animal si no se incrementara la superficie del cultivo. No se diferenciaron la harina de girasol del grano de soja en la suplementación de sorgo granífero diferido y resultan alternativas a ser consideradas en programas de alimentación bovina para el sudoeste bonaerense.

8. BIBLIOGRAFIA

- Abdelhadi, L.O. 2006. Sorgo granífero: una opción para la producción de reservas en zonas marginales. En: Sustentabilidad sin fronteras. 3° Simposio Nacional San Luis. P-53.
- Aldrich, J.M., Muller, L.D., Varga, G.A. 1993. Nonstructural carbohydrates and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:1091.
- Al-Rabbat, M.F., Baldwin R.L., Weir W.C. 1971. Microbial growth dependence on ammonia nitrogen in the bovine rumen: A quantitative study. *J. Dairy Sci.* 54:1162.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15 Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- Arakaki, C.L., Balbuena, O., Kucseva, C.D., Slanac, A.L., Kudo, H. 2004. Efecto de la suplementación con soja y derivados sobre las bacterias ruminales de novillos alimentados con Pasto Estrella. (Resumen) *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24 supl. 1: 37.
- Arelovich, H.M. 2003. Harina de girasol como suplemento de forrajes de baja calidad para bovinos. En: Usos alternativos del girasol en la alimentación animal. ASAGIR. Cuadernillo informativo N° 4. P-31.
- Arelovich, H.M., Laborde H.E., Torrea, M.B., De Giorgi, I. 1987. Utilización de Pasto Llorón diferido con tratamiento alcalino y suplementación proteica. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 7 (3): 229.
- Arelovich, H.M., Laborde H.E., Villalba, J.J., Amela, M.I., Torrea, M.B. 1992. Effects of nitrogen and energy supplementation on the utilization of low quality weeping lovegrass by calves. *Agricultura Mediterránea* 122 (2): 123.

- Arelovich, H.M., Torrea, M.B., Amela, M.I., De Giorgi, I., Laborde, H.E. 1996. Suplementación de paja de trigo en bovinos con avena, urea y harinas de girasol y carne. II. Parámetros ruminales y degradabilidad ruminal de las dietas. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 16 (1): 1.
- Arroyo, J.M., González, J., Alvir, M.R., Rodríguez, C.A., Ouarti, M. 2002. Protección frente a la degradación ruminal de la harina de girasol mediante el tratamiento con ácidos y calor. Dpto. Producción Animal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Arthington, J.D., Brown, W.F. 2005. Estimation of feeding value of four tropical forage species at two stages of maturity. *J. Anim. Sci.* 83:1726.
- Balbuena, O., Arakaki, C.L., Rochinotti, D., Somma de Feré, G., Mónaco, I.P., Slanac, A.L., Cardozo, S., Kudo, H. 2006b. Ambiente ruminal en novillos suplementados con soja cruda entera sobre pastura tropical. (Resumen) *Rev. Arg. Prod. Anim.* 26 Supl. 1: 4.
- Balbuena, O., Rochinotti, D., Arakaki, C.L., Kucseva, C.D., Somma de Feré, G., Slanac, A.L., Koza, G.A., Schreiner, J.J., Navamuel, J.M. 2002. Suplementación proteica y consumo, cinética de la digesta y digestibilidad de heno de pasto estrella. (Resumen) *Rev. Arg. Prod. Anim.* 22 Supl. 1:18.
- Balbuena, O., Rochinotti, D., Flores, J., Somma de Feré, G., Kucseva, C.D., Slanac, A.L., Cardozo, S., Kudo, H., Arakaki, C.L. 2004. Suplementación con soja en recría de bovinos para carne en pasturas tropicales. (Resumen) *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24 Supl. 1: 4.
- Balbuena, O., Rochinotti, D., Somma de Feré, G., Kucseva, C.D., Slanac, A.L., Cardozo, S., Kudo, H., Arakaki, C.L. 2006a. Niveles de soja entera cruda en suplementación invernal de vaquillas sobre pasturas tropicales. (Resumen) *Rev. Arg. Prod. Anim.* 26 Supl. 1: 2.

- Bandyk, C.A, Cochran, R.C., Wickersham, T.A., Titgemeyer, E.C., Farmer, C.G., Higgins, J.J. 2001. Effect of ruminal vs postruminal administration of degradable protein on utilization of low-quality forage by beef steers. *J. Anim. Sci.* 79:225.
- Barry, T.N., Manley, T.R. 1986. Interrelationships between the concentrations of total condensed tannin, free condensed tannin and lignin in *Lotus* sp. and their possible consequences in ruminant nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 37:248.
- Baumann T.A., Lardy G.P., Caton J.S., Anderson V.L. 2004. Effect of energy source and ruminally degradable protein addition on performance of lactating beef cows and digestion characteristics of steers. *J. Anim. Sci.* 2004. 82:2667.
- Beever, D.E. 1993. Rumen funcion. In: *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. Forbes, J.M. and France, J. (Eds.). C. A. B. International, Uk. Cap. 9. P-187.
- Bennett, W., Tucker, B. 1986. *Producción moderna de sorgo granífero*. Ed: Hemisferio Sur.
- Bergman, E.N. 1975. Digestion and metabolism in the ruminant. McDonald I.W. y Warner, A.C.I. eds. Univ. of New England publishing unit, Armidale, Australia. P-292.
- Bolletta, A. 2005. Sorgos Graníferos. Resultados en Bordenave. *Revista Desafío* 21. Año 11. N° 26.
- Bolletta, A., Vallati, A. 2007. Evaluación de sorgos diferidos. En: *Sorgo en el Sur*. Ediciones INTA.
- Bolletta, A., Vallati, A. 2008. Producción de sorgo diferido. En: *Sorgo en el Sur. Producción de forraje y grano. Campaña 2007/2008*. Ediciones INTA.

- Boyd, J.W. 1984. The interpretation of serum biochemistry test results in domestic animals. *Veterinary Clinical Pathology, Veterinary Practice*. 13 (2).
- Brockman, R.P., Laarveld, B. 1986. Hormonal regulation of metabolism in ruminants; a review. *Liv. Prod. Sci.* 14:313.
- Bryant, M.P., Robinson, I.M. 1963. Apparent incorporation of ammonia and amino acid carbon during growth of selected species of ruminal bacteria. *J. Dairy Sci.* 46:150.
- Butler, L.G. 1978. Tannins in sorghum grain: problems, solutions and opportunities. *Proc. 33rd Ann. Corn and Sorg. Res. Conf. ASTA. Washington, DC.* P-190.
- Buxton, D.R., Redfearn, D.D. 1997. Plant limitations to fiber digestion and utilization. Conference: New developments in forage science contributing to enhanced fiber utilization by ruminants. *J. Nutr.* 127:8145.
- Byers, F.M., Schelling, G.T. 1988. Los lípidos en la nutrición de los rumiantes. En: *El Rumiante. Fisiología digestiva y nutrición.* Church, D.C. (Ed.). Editorial ACRIBIA, S. A. Zaragoza (España). Cap.14. P-339.
- Casini, C. 1997. Calidad de la semilla. En: *El cultivo de la soja en Argentina.* Giorda, L.M., Baigorri, H.E. Ediciones INTA. P-89.
- Casini, C., Viale, J.A. 1997. Acondicionamiento y conservación de granos y semillas. En: *El cultivo de la soja en Argentina.* Giorda, L.M., Baigorri, H.E. Ediciones INTA. P-368.
- Caton, J.S., Freeman, A.S., Galyean, M.L. 1988. Influence of protein supplementation on forage intake, insitu forage disappearance, ruminal fermentation and digesta passage rates in steers grazing dormant blue grama rangeland. *J. Anim. Sci.* 66:2262.

- Chandrashekar, A., Mazhar, H. 1999. The biochemical basis and implications of grain strength in sorghum and maize. *J. Cereal. Sci.* 30: 193.
- Church, D.C., Santos, A. 1981. Effect of graded levels of soybean meal and a nonprotein nitrogen-molasses supplement on consumption and digestibility of wheat straw. *J. Anim. Sci.* 53:1609.
- Cochran, R.C., Adams, D.C., Currie P.O., Knapp, B.W. 1986. Cubed alfalfa hay or cottonseed meal barley as supplements for beef cows grazing fall-winter range. *J. Range. Manage.* 39:361.
- Cotta, M.A., Russell J.B. 1982. Effect of peptides and amino acids on efficiency of rumen bacterial protein synthesis in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 65: 226.
- Danelon, J. 1980. Suplementación de vacas lecheras con grano de sorgo entero y molido. Informe técnico N° 2. INTA-EEA Rafaela.
- DelCurto, T., Angell, R.A., Barton, R.K., Rose, J.A., Bennet, S.C. 1991. Alfalfa supplementation of beef cattle grazing winter sagebrush-steppe range forage. *Oregon Agric. Exp. Sta. Spec. Rep.* 880.
- DelCurto, T., Cochran, R.C., Harmon, D.L., Beharka, A.A., Jacques, K.A., Towne, G., Vanzant, E.S. 1990a. Supplementation of dormant tallgrass-prairie forage: I. Influence of varying supplemental protein and (or) energy levels on forage utilization characteristics of beef steers in confinement. *J. Anim. Sci.* 68:515.
- DelCurto, T., Cochran, R.C., Corah, L.R., Beharka, A.A., Vanzant, E.S., Jonson, D.E. 1990c. Supplementation of dormant tallgrass-prairie forage: II. Performance and forage utilization characteristics in grazing beef cattle receiving supplements of different protein concentration. *J. Anim. Sci.* 68:532.
- Delcurto, T., Cochran, R.C., Nagaraja, T.G., Corah, L.R., Beharka, A.A, Vanzant E.S. 1990b. Comparison of soybean meal/sorghum grain, alfalfa hay and dehydrated

alfalfa pellets as supplemental protein sources for beef cattle consuming dormant tallgrass-prairie forage. *J. Anim. Sci.* 68:2901.

Dijkstra, J. 1994. Production and absorption of volatile fatty acids in the rumen. *Liv. Prod. Sci.* 39:61.

Dixon, R.M., Egan, A.R. 2000. Response of lambs fed low quality roughage to supplements based on urea, cereal grain, or protein meals. *Aust. J. Agric. Res.* 51: 811.

Domanski, C., Giorda, L.M., Feresin, O. 1997. Calidad del grano. En: *Sorgo Granífero. Cuaderno de actualización técnica N° 7. EEA INTA Manfredi.* P-47.

Doggett, H. 1970. *Sorghum. Trop. Agric. Series.* Longmans.

Downes, R.W., Marshall, D.R. 1971. Low temperature induced male sterility in *Sorghum bicolor*. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 11:352.

Doyle, P.T. 1987. Supplements other than forages. In: J.B. Hacker and J.H. Ternouth (Ed.). *The Nutrition of Herbivores.* Academic Press Australia, P-429.

Dykes, L., Rooney, L.W. 2007. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World.* 52(3):105.

Fahey, G.C. Jr., Berger, L.L. 1993. Los carbohidratos en la nutrición de los rumiantes. En: *El Rumiante. Fisiología digestiva y nutrición.* Church, D.C. (Ed.). Editorial ACRIBIA, S. A. Zaragoza (España). Cap.14. P-305.

Fathi Nasri, M.H., Danesh Mesgaran, M., Nikkhah, A., Valizadeh, R., Kebreab, E., France, J. 2007. Effect of raw or roasted whole soybeans on early lactational performance and ruminal and blood metabolites in Iranian cows. *J. Agric. Sci.* 145: 529.

- Friggens, N.C., Oldham, J.D., Dewhurst, R.J., Horgan, G. 1998. Proportions of volatile fatty acids in relation to the chemical composition of feeds based on grass silage. *J. Dairy Sci.* 81:1331.
- Gagliostro, G.A. 1999. Principios de nutrición y suplementación de Bovinos en pastoreo. Área de Producción Animal. INTA EEA Balcarce.
- Galyean, M.L., Wagner, D.G., Owens, F.N. 1981. Dry matter and starch disappearance of corn and sorghum as influenced by particle size and processing. *J. Dairy Sci.* 64: 1804.
- García, S.C., Santini, F.J., Pavan, E. 2003. Uso de harina de girasol en la alimentación de ganado vacuno en pastoreo y en la alimentación a corral. En: Usos alternativos del girasol en la alimentación animal. ASAGIR. Cuadernillo informativo N° 4. P-18.
- Goering, H.K., Van Soest, P.J. 1970. Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents Procedures and some Applications. USDA Agr. Handb. N°. 379, US Govt. Printing office, Washington, DC.
- Gómez, L.A., Nakama, V., Puricelli, C.A. 1981. Carta detallada de suelos de la EEA INTA Bordenave. Escala 1:10000. INTA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales, Departamento de Suelos, Unidad de Reconocimiento de Suelos. Castelar.
- Hagerman, A.E., Butler, L.G. 1981. The Specificity of Proanthocyanidin-Protein Interactions. *J. biological chemistry.* 256 (9): 4494.
- Hannah, S.M., Cochran, R.C., Vanzant, E.S., Harmon, D.L. 1991. Influence of protein supplementation on site and extent of digestion, forage intake, and nutrient flow characteristics in steers consuming dormant bluestem-range forage. *J. Anim. Sci.* 69:2624.

- Harris, H.B. 1969. Bird resistance in grain sorghum. Proc. 24th Ann. Corn and sorghum Res. Conf. Chicago, Illinois, P-113.
- Hespell, R.B., Bryant, M.P. 1979. Efficiency of rumen microbial growth: influence of some theoretical and experimental factors on ^YATP. J. Anim. Sci. 49: 1640.
- Hibberd, C.A., Wagner, D.G., Hintz, R.L., Griffin, D.D. 1985. Effect of sorghum grain variety and reconstitution on site and extent of starch and protein digestion in steers. J. Anim. Sci. 61:702.
- Hibberd, C.A., Wagner, D.G., Schemm, R.L., Mitchell, E.D. Jr., Hintz, R.L., Weibel, D.E. 1982. Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grain. J. Anim. Sci. 55: 665.
- Hoover, W.H. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. J. Dairy Sci. 69: 2755.
- Hoover, W.H., Stokes, S.R. 1991. Balancing carbohydrates and protein for optimum rumen microbial yield. J. Dairy Sci.. 74:3630.
- House, L.R. 1982. El sorgo. Guía para su mejoramiento genético. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Hubbard, J.E., Hall, H.H., Earle, F.R. 1950. Composition of the component parts of the sorghum kernel. Cereal Chem. 27: 415.
- Hulse, J.H., Laing, E.M., Pearson, O.E. 1980. Sorghum and the millets: Their composition and nutritive value. Academic press.
- Huntington, G.B. 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. J. Anim. Sci. 75:852.

- Huston, J.E., Lippke, H., Forbes, T.D., Holloway, J.W., Machen, R.V. 1999. Effects of supplemental feeding interval on adult cows in western Texas. *J. Anim. Sci.* 77:3057.
- Jones, T.J., Cochran, K.C., Olson, K.C., Vanzant, E.S., Titgemeyer, E.C. 1996. The influence of various levels of supplemental starch and degradable intake protein on prairie hay intake and digestion by beef steers. *Cattlemen's Day. Agricultural Experiment Station. KSU.*
- Judkins, M.B., Wallace, J.D., Galyean, M.L., Krysl, L.J., Parker, E.E. 1987. Passage rates, rumen fermentation and weight change in protein supplemented grazing cattle. *J. Range. Manage.* 40:100.
- Kloster, A., Latimori, N. 1997. Uso de la soja en la alimentación animal. En: *El cultivo de la soja en Argentina. EEA INTA Marcos Juárez – EEA INTA Manfredi.* P-434.
- Koster, H.H., Cochran, R.C., Titgemeyer, E.C., Vanzant, E.S., Abdelgadir I., St-Jean G. 1996. Effect of increasing degradable intake protein on intake and digestion of low-quality, tallgrass-prairie forage by beef cows. *J. Anim. Sci.* 74:2473.
- Laborde H.E., Amela M.I., Torrea M.B., Brededan, R., Arelovich H.M. 2001. Sustainability of agricultural systems through protein supplementation of low quality roughages. In: *Ecosystems and Sustainable Development, III*, Villacampa, Y., Brebbia, Y., Usó, J.L. (Eds.) WIT Press, Southampton, UK, P-677.
- Laborde, H.E., Arelovich, H.M., Matone, S., Suardíaz, G., Canelo, S., Fernández, H., Oyola, J. 2005. Efecto de la frecuencia de suplementación con grano de soja sobre el consumo y la digestibilidad de paja de trigo con novillos. (Resumen) *Rev. Arg. Prod. Anim.* 25 Supl. 1:58.

- Lagrange, S. 2008. Sorgo Granífero Diferido. Una estrategia de alimentación invernal en vacas de cría. Boletín Técnico N° 16. Ediciones INTA.
- Massigoge, J., Zamora M., Melin. A. 2008. Evaluación del contenido de taninos en híbridos de sorgo granífero. En: Carpeta de actualización ganadera. EEAI Barrow. P-42.
- McAllister, T.A., Phillippe, R.C., Rode, L.M. Cheng, K.J. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereals grains by ruminal microorganism. *J. Anim. Sci.* 71:205.
- McAllister, T.A., Bae, H.D., Jones, G.A., Cheng, K.J. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *J. Anim. Sci.* 72:3004.
- McCollum, F.T., Galyean, M.L. 1985. Influence of cottonseed meal supplementation on voluntary intake, rumen fermentation and rate of passage of prairie hay in beef steers. *J. Anim. Sci.* 60:570.
- McCollum, F.T., Horn, G.W. 1990. Protein supplementation of grazing livestock: A review. *The professional animal scientist.* 6 (2): 1.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A. 1995. *Animal Nutrition.* 5th Ed. Longman, Singapore.
- McSweeney, C.S., Palmer, B., McNeill, D.M., Krause, D.O. 2001. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91:83.
- Mehrez, A.Z., Ørskov, E.R., McDonald, I.W. 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *Br. J. Nutr.* 38:437.
- Min, B.R., Hart, S.P. 2003. Tannins for suppression of internal parasites. *J. Anim. Sci.* 81:E102.

- Moore, K.J., Jung, H.J. 2001. Lignin and fiber digestion. *J. Range. Manage.* 54 (4):420.
- Nocek, J.E., Russell, J.B. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71:2070.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Seventh Revised Edition: Update 2000 Subcommittee on Beef Cattle Nutrition. Committee on Animal Nutrition, National Research Council NATIONAL ACADEMY PRESS. Washington, D.C.
- Owens, F.N., Goetsch, A.L. 1988. Fermentación Ruminal. En: *El Rumiante. Fisiología digestiva y nutrición.* Church, D.C. (Ed.). Editorial ACRIBIA, S. A. Zaragoza (España). Cap. N° 14. P-159.
- Owens, F.N., Zinn, R. 1988. Metabolismo de la proteína en los rumiantes. En: *El Rumiante. Fisiología digestiva y nutrición.* Church, D.C. (Ed.). Editorial ACRIBIA, S. A. Zaragoza (España). Cap. N° 14. P-255.
- Palmquist, D.L., Jenkins, T.C. 1980. Fat in lactation rations: A review. *J. Dairy. Sci.* 63:1.
- Paul, C.L. 1985. La producción de sorgo y mijo. Programa de América Latina de ICRISAT, CIMMYT, México.
- Preston, T.R. 1995. Tropical animal feeding. A manual for research worker. FAO. Animal Production and Health. Paper 126. Rome.
- Puricelli, C.A. 1981. Estudios de algunos parámetros que caracterizan el clima de Bordenave (Bs. As.). Informe Técnico N° 25. Bordenave, Argentina. INTA.
- Recavarren, P. 2007. Evaluación de sorgos diferidos. En: *Sorgo en el sur.* Ediciones INTA.

- Rochinotti, D., Somma de Feré, G.R., Flores A.J., Balbuena, O., Arakaki, C.L. 2002. Efecto de la suplementación proteica sobre el ambiente ruminal de novillos alimentados con heno de *Setaria sphacelata* cv. Narok. (Resumen) Rev. Arg. Prod. Anim. 22 Supl. 1: 11.
- Rooney, L.W., Miller, F.R. 1981. Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. Proc. International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT, Patancheru, India.
- Rooney, L.W., Pfulgfelder, R.L. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. J. Anim. Sci. 63:1607.
- Rowe, J.B., Choct, M., Pethick, D.W. 1999. Processing cereal grains for animal feeding. Aust. J. Agric. Res. 50:721.
- 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. Ruminant fermentation. J. Anim. Sci. 70:3551.
- SAGPyA. 2007. <http://www.minagri.gob.ar>
- Salas, H.P., Lovera, E., Feresin, O. 1997. Manejo de suelos. En: Sorgo Granífero. Cuaderno de actualización técnica N° 7. EEA INTA Manfredi. P-12.
- Salisbury, M.W., Krehbiel, C.R., Ross, T.T., Schultz C.L., Melton L.L. 2004. Effects of supplemental protein type on intake, nitrogen balance, and site, and extent of digestion in whiteface wethers consuming low-quality grass hay. J. Anim. Sci. 82:3567.
- Sanson, D.W., Clanton, D.C., Rush, I.G. 1990. Intake and digestion of low quality meadow hay by steers and performance of cows on native range when fed protein supplements containing various levels of corn. J. Anim. Sci. 68:595.

- Santini, F.J., Pavan, E., García, S.C., Castaño, J. 1997. Uso del silaje de maíz como dieta base en la alimentación a corral (Feedlot). En: Primer Congreso Nacional sobre Producción Intensiva de Carne. Forrajes y Granos Journal. P-161.
- SAS (2002). SAS Institute Inc., SAS Online Doc (rtm). Version 9, Copyright (c) 2002, SAS Institute Inc.
- Satter, L.D., Slyter, L.L. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *Br. J. Nutr.* 32:199.
- Schaffert, R.E., Lechtenberg, V.L, Oswald, D.L., Axtell, J.D., Pickett, R.C., Rhykerd C.L. 1974. Effect of tannin on in vitro dry matter and protein disappearance in sorghum grain. *Crop Sci.* 14: 640.
- Schingoethe, D.J., Ahrar, M. 1979. Protein solubility, amino acids composition and biological value of regular and heat-treated soybean and sunflower meals. *J. Dairy Sci.* 62:925.
- Seckinger, H.L., Wolf, M.J. 1973. Sorghum protein ultrastructure as it relates to composition. *Cereal Chem.* 50:455.
- Slyter, L.L., Satter, L.D., Dinius, D.A. 1979. Effect of ruminal ammonia concentration on nitrogen utilization by steers. *J. Anim. Sci.* 48:906.
- Smith, R.H. 1979. Synthesis of microbial nitrogen compounds in the rumen and their subsequent digestion. *J. Anim. Sci.* 49:1604.
- Smith, R.L., Bolsen K.K. 1985. Evaluation of grain sorghum as a silage crop. *Proceedings of the 15th International Grassland Congress, Kyoto, Japan, P-1020.*
- Stafford, S.D., Cochran, R.C., Vanzant, E.S., Fritz, J.O. 1996. Evaluation of the potential of supplements to substitute for low-quality, tallgrass-prairie forage. *J. Anim. Sci.* 74:639.

- Stern, M.D., Hoover, W.H. 1979. Methods for determining and factors affecting rumen microbial protein synthesis a review. *J. Anim. Sci.* 49:1590.
- Stern, M.D., Santos, K.A., Satter, L.D. 1985. Protein degradation in rumen and amino acid absorption in small intestine of lactating dairy cattle fed heat-treated whole soybeans. *J. Dairy. Sci.* 68:45.
- Stokes, S.R., Hoover, W.H., Miller, T.K., Manski, R.P. 1991. Impact of carbohydrate and protein levels on bacterial metabolism in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 74: 860.
- Streeter, M.N., Wagner, D.G., Hibberd, C.A., Owens, F.N. 1990. The effect of sorghum grain variety on site and extent on digestion of beef heifers. *J. Anim. Sci.* 68:3429.
- Stritzler, N., Gingsins, M., Santucho, G. 1982. Efecto del molido sobre la digestibilidad del grano de sorgo en bovinos. *Producción Animal* 9: 3.
- Sunvold, G.D., Cochran, R.C., Vanzant. E.S. 1991. Evaluation of wheat middlings as a supplement for beef cattle consuming dormant bluestem-range forage. *J Anim. Sci.* 69:3044.
- Torre, R., Laborde, H.E., Arelovich, H.M., Torrea M.B. 2003. Empleo del grano de soja entero como suplemento proteico de forrajes de baja calidad. (Resumen) *Rev. Arg. Prod. Anim.* 23. Supl. 1:90.
- Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant.* (Ed 2). Ithaca, USA: Comstock Publishing Associates.
- Van Soest, P.J., Jones, L.H.P. 1968. Effect of silica in forages upon digestibility. *J. Dairy Sci.* 51:1644.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583.

Wallace, J.D. 1987. Supplemental feeding options to improve livestock efficiency on rangelands. In: White, R.S., Short, R.E. 1987. Achieving efficient use of rangeland resources. Fort Keogh res. Symp. Montana agric. Exp. Sta., Bozeman, P-92.