

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

“EVALUACIÓN EN VAQUILLONAS DEL EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE GRANO DE SORGO, EN UNA DIETA BASADA EN PASTURA FRESCA”

por

**Cecilia ACOSTA,
Rosina CARBONE**

TESIS DE GRADO presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Doctor en Ciencias Veterinarias.

Orientaciones: Higiene, inspección, control y tecnología de los alimentos de origen animal, y Medicina veterinaria.

Modalidad: Ensayo Experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2010**

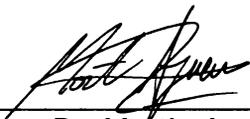


PÁGINA DE APROBACIÓN

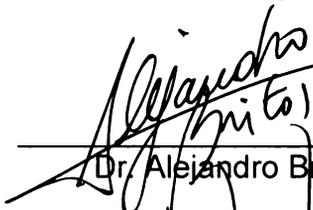
Presidente de Mesa:


Ing. Agr. Mariana Carriquiry

Segundo Miembro (Tutor):


Dr. Martín Aguerre

Tercer Miembro:

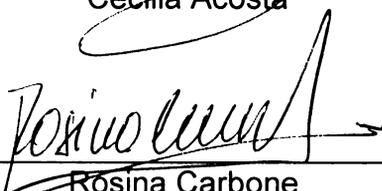

Dr. Alejandro Britos

Cuarto Miembro (Co-Tutor):


Dr. José Luis Repetto

Autores:


Cecilia Acosta


Rosina Carbone

Fecha:

Viernes 11 de Junio, año 2010

FACULTAD DE VETERINARIA

Aprobado con 9 (nueve) 

AGRADECIMIENTOS

- A Martín y Joselo, por guiarnos y apoyarnos durante todo este proceso.
- A los integrantes de la cátedra de Nutrición Animal de Facultad de Veterinaria, por la ayuda brindada tanto en el trabajo de campo como en el laboratorio; especialmente a Coco, por su apoyo incondicional sin importar día y hora.
- A nuestros compañeros tesisistas, Vanesa, Gustavo, Rafa, Leandro, Alvaro, Rulo, Cuiti y Giorella, por el arduo trabajo de campo y lindos momentos compartidos.
- A nuestras familias, sobretodo a nuestros padres y hermanos por acompañarnos SIEMPRE.
- A nuestros amigos, por alegrarnos la vida.
- A Chopo, por su compañía y apoyo incondicional.
- A Cuper
- A los integrantes de la cátedra de Bioestadística por abrirme las puertas a su gran familia.

Dedicada a Papá, que está presente en mi corazón todos los días.

TABLA DE CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| <u>PÁGINA DE APROBACIÓN</u> | II |
| <u>AGRADECIMIENTOS</u> | III |
| <u>1. RESUMEN</u> | 1 |
| <u>2. SUMMARY</u> | 2 |
| <u>3. INTRODUCCIÓN</u> | 3 |
| <u>4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> | 3 |
| 4.1. DIGESTIÓN EN RUMIANTES..... | 3 |
| 4.2. CARBOHIDRATOS Y PROTEÍNAS EN LA DIETA..... | 5 |
| 4.3. EL FORRAJE COMO ALIMENTO BASE EN LA DIETA..... | 6 |
| 4.4. SUPLEMENTOS..... | 7 |
| 4.5. SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADOS..... | 9 |
| 4.6. CONSUMO..... | 11 |
| 4.6.1. Regulación del consumo..... | 11 |
| 4.6.2. Efectos de la suplementación sobre el consumo..... | 12 |
| <u>5. HIPÓTESIS</u> | 14 |
| <u>6. OBJETIVOS</u> | 14 |
| 6.1. OBJETIVO GENERAL..... | 14 |
| 6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 15 |
| <u>7. MATERIALES Y MÉTODOS</u> | 15 |
| 7.1. DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 15 |
| 7.2. DETERMINACIONES Y TÉCNICAS..... | 16 |

| | |
|---|----|
| 7.2.1. Consumo..... | 16 |
| 7.2.2. Digestibilidad <i>in vivo</i> | 17 |
| 7.2.3. Balance de nitrógeno..... | 17 |
| 7.3. ANÁLISIS QUÍMICOS..... | 17 |
| 7.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 17 |
| <u>8. RESULTADOS</u> | 18 |
| 8.1. DIETAS..... | 18 |
| 8.2. CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD DE MS Y COMPONENTES NO NITROGENADOS..... | 18 |
| 8.3. CONSUMO, DIGESTIBILIDAD Y RETENCIÓN DE NITROGENO..... | 21 |
| <u>9. DISCUSIÓN</u> | 21 |
| <u>10. CONCLUSIONES</u> | 24 |
| <u>11. BIBLIOGRAFÍA</u> | 25 |

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Página

| | |
|---|----|
| Cuadro I. Composición química de la pastura y el grano de sorgo consumidos por los animales durante el ensayo..... | 16 |
| Cuadro II. Composición química, nivel de FND proveniente de forraje y porcentaje de MO digestible de las dietas consumidas por vaquillonas alimentadas en base a pastura fresca y suplementadas con grano de sorgo molido a niveles del 0,5, 1,0 y 1,5% de su peso vivo..... | 19 |
| Cuadro III. Consumo y digestibilidad de MS y componentes no nitrogenados de vaquillonas alimentadas en base a pastura fresca y suplementadas con grano de sorgo molido a niveles del 0,5, 1,0 y 1,5% de su peso vivo..... | 20 |
| Cuadro IV. Consumo, digestibilidad aparente, nitrógeno urinario y retención de nitrógeno en vaquillonas alimentadas en base a pastura fresca y suplementadas con grano de sorgo molido a niveles del 0,5, 1,0 y 1,5% de su peso vivo..... | 21 |
| Figura 1. Efectos de la suplementación sobre el consumo..... | 14 |

LISTA DE ABREVIATURAS

AGV: ácidos grasos volátiles

ALM: almidón

DMT: “*discomfort*” mínimo total

FAD: fibra ácido detergente

FND: fibra neutro detergente

MO: materia orgánica

MOD: materia orgánica digestible

MS: materia seca

N: nitrógeno

NH₃: amoníaco

PB: proteína bruta

PV: peso vivo

T1: tratamiento 1 (forraje de buena calidad)

T2: tratamiento 2 (forraje de buena calidad y 0,5% PV grano de sorgo)

T3: tratamiento 3 (forraje de buena calidad y 1% PV grano de sorgo)

T4: tratamiento 4 (forraje de buena calidad y 1,5% PV grano de sorgo)

1. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar en bovinos el efecto sobre el consumo, la digestibilidad y el balance de nitrógeno, de la inclusión de diferentes niveles de grano de sorgo en dietas forrajeras de alta calidad. Se utilizaron 24 vaquillonas que fueron bloqueadas de acuerdo a su PV en 6 grupos y dentro de cada grupo fueron asignadas al azar a uno de 4 tratamientos. La dieta de los mismos fue basada en forraje templado y suplementada con diferentes niveles de inclusión de grano de sorgo: T1:0% del peso vivo (PV), T2:0,5%, T3:1,0% y T4:1,5% del PV. Se midió el consumo de los alimentos y de las diferentes fracciones de la dieta, la digestibilidad aparente in vivo de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), almidón (ALM); y el nitrógeno urinario. Se encontró que en los tratamientos suplementados el consumo de MS, MO, ALM y MOD fue mayor que en el no suplementado, y el consumo de MS, MO y FND del forraje disminuyó a medida que se incrementó la inclusión de suplemento. La digestibilidad de la MS y MO fue mayor en los tratamientos suplementados, sin encontrar efecto del nivel de suplementación. El consumo y la digestibilidad de N no variaron con la suplementación. La retención de N fue mayor en los tratamientos suplementados, sin encontrar efecto del nivel de suplementación. En general, la suplementación aumentó el consumo y la digestibilidad de los componentes de la dieta. De los distintos niveles de inclusión estudiados el más eficiente en cuanto al aprovechamiento de nutrientes, fue 0,5% del PV, ya que niveles de suplementación mayores no mejoraron el consumo, la digestibilidad, ni la retención de N.

2. SUMMARY

The aim of this work was to study the effect on cattle, on intake, digestibility and nitrogen balance, of the inclusion of different levels of sorghum grain in high-quality forage diets. Twenty four heifers were blocked according to their PV in 6 groups and within each group were randomly assigned to one of 4 treatments. Diet was based on temperate forage and supplemented with different levels of inclusion of sorghum grain: T1: 0% body weight, T2: 0.5% T3: 1.0% and T4: 1.5%. Dry matter intake, in vivo apparent digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), nitrogen (N), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), starch (ALM) and urinary nitrogen were measured. The Intake of DM, MO, ALM, and MOD was greater in supplemented than non-supplemented treatments, and DM, OM and NDF forage intake decreased with increased inclusion of supplement. The digestibility of DM, OM was greater on supplemented treatments, without finding effect on level of supplementation. Consumption and digestibility of N did not change with supplementation. N retention was greater in the supplemented treatments, without finding effect on level of supplementation. In general, supplementation increased intake and digestibility of dietary components. About the different levels of inclusion studied, the most efficient in terms of utilization of nutrients, was 0.5% of PV, since greater levels of supplementation did not improve intake, digestibility, or N retention.

3. INTRODUCCIÓN

Uruguay es un país en el cual la agricultura y la ganadería son recursos fundamentales de la economía. Éstos han sido muy importantes desde sus inicios como país, dado que siempre se han mantenido entre los principales rubros de actividad y exportación (DIEA, 2009a).

El país cuenta con un área terrestre total de 17,6 millones de has, de las cuales 16,4 millones se dedican a distintos rubros agropecuarios (DIEA, 2009a). Actualmente el stock bovino es de 11.773.000, con una faena anual de 2,3 millones de cabezas de ganado bovino y una producción de leche de 1.582 millones de litros (período 2007-2008 (DIEA, 2009b)). En el año 2007 la exportación de carne bovina fue de 382 mil toneladas, lo que significó un total de 816 millones de dólares (DIEA, 2009b).

En los últimos años la producción de los rubros agrícola y forestal ha tenido un fuerte incremento, lo que ha traído como consecuencia una reducción de la superficie disponible para la producción ganadera. De esta forma, del total del área agropecuaria, la superficie dedicada a ganadería y lechería pasó de ser 74,2% en el año 1990, a 66,3% en el año 2000 (DIEA, 2009b) e incluso menor en años posteriores. De la superficie total destinada a pastoreo, el 8,9% corresponde a praderas implantadas y el 17,4% a mejoramientos forrajeros (DIEA, 2009b); lo que indica un porcentaje muy elevado de pasturas naturales, 73,7%.

Como consecuencia de la competencia por la tierra, el precio promedio de la misma ha ido aumentando considerablemente en los últimos tiempos. En el primer semestre del año 2008, el precio promedio de la hectárea fue de 1.768 dólares, y en el mismo período del año 2009 pasó a ser 2.299 dólares (DIEA, 2009a).

Todos estos factores hacen necesaria la intensificación de la producción ganadera. Una de las formas de lograrlo es mediante la inclusión de suplementos alimenticios adicionales a la típica dieta de base pastoril.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. DIGESTIÓN EN RUMIANTES

La alimentación de los rumiantes se basa principalmente en forrajes, los cuales presentan en su composición altos porcentajes de polisacáridos como la celulosa. Dado que éstos carbohidratos no pueden ser digeridos por las enzimas del animal, la evolución ha llevado a que los rumiantes desarrollen un sistema de fermentación microbiana de los alimentos, antes de exponerlos a sus propias enzimas digestivas (McDonald, 2006). Dicha fermentación tiene lugar en el rumen.

El rumen puede ser considerado una gran cámara de fermentación con una rica y variada población microbiana que habita en ella. Existen varias características del retículo-rumen que proporcionan un sistema de cultivo continuo para los microorganismos. Una de éstas es la capacidad de mantener un pH regulado (5,5-6,5), esto resulta del equilibrio entre la producción de ácidos en la fermentación, la rapidez de absorción de los mismos y el aporte de fosfatos y bicarbonatos provenientes de la saliva que actúan como tampones (McDonald, 2006). Otra característica del medio ruminal es tener una temperatura estable entre 38 y 42°C, debido al metabolismo corporal sumado al calor generado por la fermentación ruminal. Al mismo tiempo posee un gran contenido de humedad debido a la gran cantidad de agua libre proveniente del agua de bebida, salivación y alimentación. A su vez, mantiene un ambiente de anaerobiosis como consecuencia del rápido consumo del oxígeno que ingresa al rumen (McDonald, 2006). Finalmente otra de las características fundamentales del retículo-rumen es el aporte y agitación continua de nutrientes, debido a una alta frecuencia de ingesta, y a las contracciones retículo-ruminales respectivamente; a su vez existe una eliminación continua de productos ya sea por su absorción, eructación o tránsito (Van Soest, 1994).

El contenido ruminal se encuentra estratificado según su densidad, en el saco dorsal existe una capa gaseosa y una capa fibrosa; y en el ventral un contenido fluido compuesto por partículas pequeñas y densas (Van Soest, 1994). El contenido fibroso del saco dorsal es sometido al proceso de rumia para disminuir el tamaño de sus partículas y quedar expuesto a la degradación microbiana. Como producto de la misma se obtienen ácidos grasos volátiles (AGV), células microbianas, gases metano y dióxido de carbono. Éstos últimos son eliminados por medio de la eructación y los AGV son absorbidos por la pared ruminal. Los alimentos no degradados en rumen y las células microbianas pasan al abomaso e intestino delgado donde sufren una degradación enzimática. Existe una segunda fase de digestión microbiana en el intestino grueso, como producto de ésta se obtienen AGV, que son absorbidos, y células microbianas que son eliminadas con las heces junto con los compuestos alimenticios no digeridos (McDonald, 2006).

El rumen presenta una variada microflora. Esta población microbiana ruminal está compuesta por bacterias, hongos y protozoarios, los que actúan conjuntamente para atacar y degradar los alimentos (McDonald, 2006).

La flora bacteriana compone un grupo muy complejo, activo y denso. Estas bacterias se pueden encontrar libres en el líquido ruminal, fijadas a la pared interna del rumen o adheridas a partículas de alimento (Cheng & Costerton, 1980). Para su mantenimiento y crecimiento necesitan un aporte de energía (proveniente en su mayor parte de los carbohidratos) y nitrógeno (N).

Las especies bacterianas y su proporción en la microflora son los determinantes del perfil de fermentación ruminal (Yokohama & Johnson, 1988). Uno de los principales grupos bacterianos del rumen lo constituyen las bacterias celulolíticas. Éstas son las encargadas de atacar las paredes celulares. Para su crecimiento requieren principalmente amoníaco (NH₃). Según Hoover (1986), una disminución del pH ruminal por debajo de 5,5

produce una disminución de la población de bacterias celulolíticas pudiendo inhibir completamente la digestión de la fibra. Otro grupo relevante en la microflora ruminal son las bacterias amilolíticas, éstas toleran valores de pH más bajos que las bacterias celulolíticas. El tipo de alimento consumido por el rumiante determina variaciones en la microflora ruminal (Ørskov, 1992). De ésta forma, en dietas ricas en concentrados aumenta proporcionalmente la flora amilolítica mientras que en dietas ricas en forrajes prevalece el grupo de bacterias celulolíticas (McAllister y col., 1993).

Los protozoarios presentes en el rumen son capaces de fagocitar bacterias, degradar almidón y azúcares solubles, y tienen una acción proteolítica. Los hongos presentan un efecto favorable en la digestión de la fibra debido a que penetran las paredes celulares lignificadas, lo que permite el posterior acceso de las enzimas bacterianas (McDonald, 2006).

4.2. CARBOHIDRATOS Y PROTEÍNAS EN LA DIETA

Según Van Soest (1982), los carbohidratos se pueden clasificar desde un punto de vista nutricional en fibrosos y no fibrosos o solubles. Dentro de los carbohidratos fibrosos encontramos a la celulosa y hemicelulosa, las cuales están estrechamente relacionadas con la lignina (polímero de fenilpropano). Los análisis propuestos por el mismo autor permiten agrupar estos compuestos en, lo que llamamos fibra neutro detergente (FND: correspondiente a la pared celular: celulosa, hemicelulosa y lignina) y fibra ácido detergente (FAD: correspondiente a celulosa y lignina). Los carbohidratos fibrosos del forraje son de lenta degradación y dado su estructura estimulan la rumia y producción de saliva; también pueden limitar la ingestión por llenado del rumen (mecanismo físico de regulación del consumo). Dado que generalmente tienen menor digestibilidad que los no fibrosos, el aporte de energía al animal es menor. Los carbohidratos no fibrosos como los azúcares solubles y los carbohidratos de reserva (entre ellos el almidón), son fermentados rápidamente (Van Soest, 1994).

La proteína bacteriana resultante de la multiplicación de la flora ruminal, es de alto valor biológico y puede representar del 50 al 80% de la proteína total absorbida por el rumiante (Nocek y Russell, 1988; Bach y col., 2005); este proceso de degradación y síntesis, asegura al rumiante la llegada de proteína de alto valor biológico, independientemente de la calidad de la proteína consumida, lo que nos permite utilizar fuentes de N económicas en la dieta para satisfacer los requerimientos del animal. La proteína en la alimentación del rumiante cumple la función de aportar aminoácidos al mismo y N a los microorganismos ruminales; éstos también son capaces de utilizar fuentes de N no proteico para su crecimiento. Para favorecer la multiplicación bacteriana e incrementar el flujo de proteína microbiana al duodeno, es necesaria una correcta sincronización del aporte de materias nitrogenadas y carbohidratos de fácil fermentación al rumen (Russell y col., 1983; Branine y Galyean, 1990; Berzaghi y col., 1996). Si la proporción de N que llega al rumen supera a la de carbohidratos, pueden producirse grandes pérdidas de N; debido a esto, la producción ganadera ha sido identificada como la mayor fuente de eliminación de N al medio ambiente en sistemas intensivos, por lo que es muy importante

reducir estas excreciones, mediante una mejora en la eficiencia de utilización de N (Hoekstra y col., 2007).

4.3. EL FORRAJE COMO ALIMENTO BASE EN LA DIETA

Las praderas templadas implantadas en Uruguay garantizan un forraje caracterizado por presentar alta digestibilidad, alto contenido de proteína bruta y rápida velocidad de degradación a nivel ruminal. Sin embargo, este tipo de forraje contiene niveles variables de carbohidratos fácilmente fermentescibles, lo que limita la eficiencia de utilización de N por los microorganismos ruminales (Napoli y Santini, 1988ayb; Rearte y Santini, 1989; Sauvant y col., 1995; Elizalde y col., 1996; Berzaghi y col., 1996; Hristov y col., 1997; Heldt y col., 1999; Kim y col., 1999; Khalili y Sairanen, 2000; Trevaskis y col., 2001).

La composición del forraje consumido se ve afectada por la especie forrajera, la parte de la planta ingerida y la etapa fisiológica del vegetal (Elizalde y col., 1999a). La degradación es más rápida en forrajes más tiernos que en forrajes más groseros, en hojas que tallos y en leguminosas que gramíneas (Van Soest, 1994). A medida que avanza el estado vegetativo no solo aumenta la proporción de celulosa, hemicelulosa y lignina, sino también el grado de unión entre éstos. Cómo la lignina es un componente indegradable, su unión con ellos disminuye la digestibilidad del forraje; también se afecta la cantidad de N utilizable a nivel digestivo debido a que parte del mismo se encuentra en la pared celular indigestible (Pichard y Van Soest, 1977; Van Soest, 1982). Debido a los cambios que se dan en la maduración del forraje se propone que a mayor contenido de FAD de un forraje, menor es su digestibilidad.

Debido a las características de las pasturas de alta calidad, las concentraciones de NH_3 presentes en el rumen de los animales que las consumen, son variables (de 6 a 30 mg/dl), aunque generalmente son superiores a las que se consideran como limitantes para la producción de proteína microbiana (Van Vuuren y col., 1986; Napoli y Santini, 1988a; Khalili y Sairanen, 2000). Trabajos realizados en nuestro país por el Departamento de Nutrición de Facultad de Veterinaria, indican que en bovinos que se encuentran pastoreando praderas de gramíneas y leguminosas, las concentraciones de NH_3 ruminal son elevadas (20,1mg/100dl en promedio). Es así que cuando se dispone de pasturas de buena calidad en cantidad suficiente el NH_3 ruminal no significaría una limitante para el crecimiento microbiano (Cajarville y col., 2006). Según Van Vuuren y col. (1990) y Elizalde y col. (1999c), es necesario el suministro de una fuente de energía adicional, que aumente el flujo de N no amoniacal hacia el duodeno, reduciendo las concentraciones de NH_3 ruminal. Reis y Combs (2000), explican esta reducción de NH_3 ruminal, por una disminución en el consumo total de N y un mejor uso del N amoniacal para la síntesis de proteína microbiana ruminal. Coincidiendo con estos autores, Elizalde y col. (1999b) y Jetana y col. (2000), señalan que la suplementación con concentrados ricos en energía, es una forma de mejorar la captura microbiana de NH_3 y la retención de N; ya que aporta carbohidratos que son limitantes para la producción de proteína microbiana en una dieta exclusivamente forrajera. Sin embargo, en estudios realizados por Tebot (2008) en ovinos, la suplementación no aumentó la captación de N amoniacal por

parte de los microorganismos, como era esperado, pero tampoco tuvo un efecto negativo sobre la fermentación ruminal.

García y col. (2000) así como Elizalde y col. (1999b), sugieren que la fermentación de la MS de pasturas de alta calidad provee energía suficiente a los microorganismos ruminales; ya que en sus estudios no encontraron diferencias en la eficiencia de síntesis de proteína microbiana, entre grupos de terneras alimentadas con avena fresca, suplementadas con maíz y cebada y no suplementadas. A diferencia de estos autores, Van Vuuren y col. (1993), en un estudio realizado con vacas lecheras alimentadas con pastura fresca, indican que al suplementar con un concentrado alto en almidón, la eficiencia de síntesis microbiana es mayor.

4.4. SUPLEMENTOS

La suplementación con concentrados energéticos en animales consumiendo una dieta basada en forrajes de buena calidad, es comunmente usada en la ganadería para alcanzar altos niveles productivos o sobrellevar situaciones de baja oferta de pasturas. Al realizar este manejo alimenticio se debe tener en cuenta el tipo de suplemento y la cantidad ofrecida, así como su efecto sobre el consumo y digestión del forraje.

Dentro de los suplementos ricos en energía los más utilizados son los granos de cereales, los azúcares y sus extractos (glucosa y melaza); éstos últimos presentan una rápida degradación ruminal. Los granos, dado su elevado contenido en almidón, aproximadamente 70% (Offner y col., 2003), constituyen una buena fuente de carbohidratos de fácil fermentación para los microorganismos ruminales, también presentan una baja proporción de azúcares solubles (4 a 6%) y proteína cruda (6 a 14%).

Los granos de cereales poseen características diferentes en cuanto a su degradación ruminal. Granos como el trigo y la cebada son degradados rápida y casi completamente en rumen a diferencia de otros como el maíz y el sorgo que son degradados lentamente y de forma incompleta. Esto se debe a la dificultad de degradación de los gránulos de almidón (Sauvant y col., 1994), ya que éstos se encuentran envueltos por una matriz proteica. La velocidad de degradación de la proteína de esa matriz es quien determina la velocidad de hidrólisis del almidón. La tasa y magnitud de digestión ruminal del almidón de los cereales, depende básicamente del genotipo de grano en cuestión (Martin y col., 1999; Philippeau y col., 1999), de la interacción de factores como la composición de la dieta, el nivel de consumo, la adaptación del animal al alimento (Huntington, 1997) y de los tratamientos realizados sobre el grano (Balogun y col., 2006; Fellner y col., 2001; Swingle y col., 1999; Huck y col., 1999; Hill y col., 1991). Los tratamientos producen la ruptura de la estructura del grano, liberando al almidón, lo que lo expone al ataque bacteriano (McAllister y col., 1993). Ésto aumenta los porcentajes de degradación ruminal, incidiendo en forma directa sobre la disponibilidad de energía para el animal, y favoreciendo el crecimiento de la población microbiana en el rumen (Poore y col., 1993).

El grano de sorgo

El sorgo se clasifica como una gramínea de origen tropical; es cultivado ampliamente en las zonas de climas templados, y es uno de los granos con mayor uso en la alimentación animal. En el período 1999-2000 se sembraron en nuestro país 12.000 hectáreas, resultando en una producción de 20.000 toneladas y un rendimiento de 1.605 kg por ha, mientras que en el período 2008-2009 se sembraron 68.000 has, resultando en una producción de 324.000 toneladas y un rendimiento de 4.764 kg por ha (DIEA, 2009b). En comparación con el maíz, el sorgo presenta un mayor contenido de proteína y menos aceite; por lo tanto su contenido de energía metabolizable es ligeramente inferior (Chessa, 2007). El valor alimenticio del grano de sorgo para rumiantes es intermedio en relación a otros cereales tales como maíz, trigo y cebada; sin embargo presenta ventajas por su bajo costo el cual en los últimos años representó aproximadamente 70-75% del precio del maíz (DIEA, 2009a). Desde el punto de vista agronómico es un cultivo resistente a condiciones adversas de tipo de suelo y estrés hídrico (Bianco y col., 2000).

Existen distintos tipos de granos de sorgo; los sorgos oscuros o de testa pigmentada, poseen en la misma taninos condensados (catequinas, flavonoides y leucoantocianinas). Éstos compuestos afectan negativamente el valor nutricional del sorgo, ya que tienen la propiedad de enlazar las proteínas del grano haciéndolas insolubles, a la vez que inhiben la acción de la amilasa; lo cual, junto con otros compuestos del grano, son factores que deprimen la palatabilidad, digestibilidad y el contenido de energía metabolizable. Los sorgos graníferos sin taninos condensados tienen un valor nutritivo equivalente al 95-98% del valor nutritivo del maíz (Chessa, 2007). Una razón para cultivar sorgos con taninos condensados, es que éstos resisten mejor el deterioro ambiental de la cosecha, dado que la naturaleza química de esos compuestos es un medio no favorable para el crecimiento y desarrollo de hongos; evitando así el enmohecimiento de los granos (Chessa, 2007).

El grano de sorgo es uno de los granos más usados en Uruguay para suplementar bovinos en pastoreo, sin embargo, existen escasos datos nacionales sobre la utilización a nivel digestivo de este grano. En trabajos realizados en el Departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Veterinaria, se observaron mayores degradabilidades ruminales *in situ* cuando se compararon granos de sorgo cosechados temprano (con más de 25% de humedad) con granos de sorgo cosechados tardíamente, cuando el contenido de humedad disminuía hasta un 14% (Repetto y col., 2005).

Baran y col. (2008a), estudiando en vacas lecheras el efecto sobre la digestibilidad de los nutrientes, del uso de sorgo o de maíz como fuente de energía, observaron que las diferencias entre digestibilidad de la MS, materia orgánica (MO), FND, y FAD, no fueron significativas. En el mismo año en estudios realizados por el mismo autor en ganado de carne, se encontró que las diferencias entre dietas mixtas a base de trigo y dietas mixtas a base de sorgo, en términos de ganancia de peso diario, consumo y digestibilidad de los nutrientes, no fue significativa; por lo que el grano de sorgo podría ser utilizado

como fuente de energía para raciones de ganado bovino en sustitución del trigo (Baran y col., 2008b).

4.5. SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADOS.

La inclusión de suplemento en dietas basadas en pasturas aportan carbohidratos necesarios para la actividad microbiana, sin embargo su fermentación puede perjudicar el funcionamiento ruminal, ya que entre otras cosas, aumenta la producción de AGV (Owens y col., 2008), lo que disminuye el pH ruminal. La estructura de los granos de cereales promueve escasamente la rumia, por lo que la producción de saliva es menor, llevando a una disminución de la capacidad tampón en el rumen. La disminución del ingreso de sustancias tampón provenientes de la saliva junto con la acumulación ruminal de ácido, podría llevar a una disminución del pH ruminal. Reis y Combs (2000), estudiando vacas lecheras alimentadas con pastura y suplementadas con concentrado a base de maíz, así como también Lardy y col., (2004) en estudios en novillos alimentados con pasturas y suplementados con cebada; concluyen que el pH ruminal y la concentración de AGV no fueron afectados por la suplementación. Elizalde y col. (1999b) encontraron que el pH ruminal disminuyó, y la concentración de AGV aumentó, al suplementar con maíz novillos alimentados a base de alfalfa fresca. Los efectos de una disminución del pH ruminal sobre la fermentación microbiana, dependen no solo del valor de pH alcanzado, sino también del tiempo en que el valor de pH es sub-óptimo (Cerrato-Sánchez y col. 2008), pudiendo ser éste último factor más crítico que el primero (de Veth & Kolver, 2001b). de Veth & Kolver (2001a), en estudios *in vitro*, demuestran que el pH ruminal límite (bajo el cual se afectaría a la digestibilidad de la MS) en vacas lecheras alimentadas con pasturas de alta calidad, es de 5,8, a diferencia de los valores recomendados por los modelos tradicionales (6,0-6,2). Estos autores indican que el pH óptimo para la digestibilidad de la MS del forraje es de 6,35, y para la síntesis de proteína microbiana es 6,13.

Cuando se incluyen suplementos en dietas a base de pastura fresca, cambian las proporciones de AGV ruminales, produciendo en su fermentación una mayor proporción de ácido propiónico (Ørskov, 1992). En estudios realizados por Lardy y col. (2004), se observó que la suplementación redujo las proporciones ruminales de acetato y butirato. Según Leng (1982), el aumento en la absorción de propionato y la llegada de carbohidratos al intestino tiene un efecto beneficioso para la producción animal. Dicha llegada se debe a que una parte importante del almidón de los granos de cereales puede escapar a la degradación ruminal y llegar al intestino delgado para su digestión enzimática (Huntington, 1997). Según Huntington y col. (2006), la digestión ruminal del almidón consumido oscila entre 75 y 80%. Éste autor también indica que la mayor limitante en el uso de almidón en la dieta, es la digestión y absorción del mismo en el intestino delgado; ya que encontró que la cantidad de almidón aparentemente digerida en el intestino delgado disminuye a medida que se incrementa la cantidad de almidón que llega al mismo.

El almidón adicionado a una dieta, puede producir una disminución del pH ruminal, (Bargo y col., 2002) y consecuente disminución de la actividad de los

microorganismos celulolíticos (Mould y Orskov, 1983), mientras que las bacterias amilolíticas no se ven afectadas por la acidificación producida. Sin embargo estudios realizados por Cajarville y col. (2006), demuestran que el pH del ambiente ruminal, al consumir pasturas de buena calidad suplementadas con cebada y maíz, se mantuvo en valores límites para el correcto funcionamiento de la flora celulolítica. Ésto coincide con lo observado en el estudio realizado por Aguerre y col. (2008), en el que se evaluaron cuatro dietas basadas en forraje fresco y suplementadas con grano de sorgo en diferentes proporciones: 0, 0,5, 1 y 1,5% del PV; los valores de pH ruminal se encontraron entre 6,07 y 6,80 . En un estudio realizado por Kolver y de Veth (2002), se encontró que el pH ruminal tuvo una relación positiva con la proporción de FND del forraje y negativa con la proporción de carbohidratos no estructurales. Sin embargo estos autores afirman que no existe variable alguna o grupo de variables capaces de realizar una predicción confiable de los valores de pH ruminal.

En relación al efecto de la suplementación sobre el N amoniacal ruminal, se encontraron resultados variables, si bien la mayoría coincide en que la suplementación disminuye la concentración de NH_3 ruminal. Bargo y col. (2002) y Berzaghi y col. (1996), estudiando el efecto de la suplementación con concentrado a base de maíz, en vacas lecheras alimentadas con pastura fresca, observaron que el N amoniacal, disminuyó con la suplementación. Sin embargo Owens y col. (2008), en estudios realizados en novillos alimentados con silo de ryegrass, encontraron que el N amoniacal ruminal aumentó con el consumo de un suplemento basado en grano de cebada. El mismo autor observó que la suplementación con concentrados aumentó el consumo de N, el flujo de N amoniacal y la digestibilidad total del N. En estudios realizados por Moore y col. (1999), se observó que la suplementación disminuyó el consumo voluntario de forraje, cuando el consumo total del suplemento fue mayor a 0,7% del peso vivo del rumiante. Este estudio coincide con la revisión realizada por Bargo y col. (2003), en la que indica que el consumo de N se reduce con la suplementación con concentrados ricos en energía.

Lardy y col. (2004) encontraron que la digestibilidad de la FND aumentó, pero la digestibilidad de la FAD disminuyó a medida que se incrementó la suplementación con cebada en novillos. En cambio en estudios realizados por Tebot (2008) se encontró que la digestibilidad de la FND disminuyó con la adición de suplementos energéticos a la dieta. La depresión en la digestión de la fibra, que puede producirse al suplementar con concentrados ricos en energía (Bargo y col., 2003), es más pronunciada cuando la pastura es de mala calidad (alto contenido de fibra y bajo en proteína).

En estudios realizados en ovinos por Tebot (2008), se encontró que la suplementación energética con grano de cebada en dietas en base a pastura fresca, mejoró la digestibilidad de la MS y MO, independientemente de la calidad de las pasturas utilizadas. Estos resultados coinciden con estudios realizados por Lardy y col (2004) y por Jones-Endsley y col. (1997), en el que encontraron que el consumo y la digestión de MS y MO en vacas lecheras alimentadas a base de pasturas, aumentó al incrementar la cantidad de suplemento ofrecido. Por otra parte, Pereira y col. (2007) observaron que, si

bien al aumentar los niveles de suplementación en la dieta aumentó el consumo de la mayor parte de los nutrientes, este hecho no alteró la digestibilidad ruminal de los mismos.

Estudios realizados por Pailan y col. (2008), sugieren que la concentración óptima de suplementación con concentrados en dietas mixtas de mantenimiento para ganado bovino es de 1% del peso vivo.

Si bien la suplementación con concentrados ricos en energía, en dietas de base pastoril, es beneficioso para la fermentación ruminal, ya que aporta carbohidratos y mejora el aprovechamiento de N, se debe tomar en cuenta el tipo de concentrado, la calidad del forraje utilizado y las posibles repercusiones negativas que pueden producirse sobre el ambiente ruminal. Como indica Cullen y col. (1986), los concentrados ricos en energía favorecen la síntesis de proteína microbiana pero a su vez pueden causar problemas por acidosis.

4.6. CONSUMO

4.6.1. Regulación del consumo

El consumo de alimentos se encuentra regulado por múltiples factores, tales como la capacidad visceral, la habilidad de los tejidos para metabolizar los nutrientes, el pH y la osmolaridad ruminal (Forbes, 1996).

Según Forbes (1995), existen tres teorías propuestas sobre las señales de retroalimentación que actuarían en la regulación del consumo de alimentos. La teoría quimiostática indica que los niveles de AGV son estímulo para el cese de la ingestión, por medio de receptores retículo-ruminales. Según la teoría termostática los animales se alimentan para mantener la homeotermia, por lo que una exposición prolongada al calor disminuye el nivel de consumo, y la exposición al frío lo aumenta. En base a la teoría lipostática el engrasamiento disminuye la ingestión; lo cual puede estar relacionado con el balance energético o con una reducción de la capacidad abdominal por los depósitos grasos. El tejido adiposo tiene la capacidad de secretar una hormona llamada leptina que actúa inhibiendo el consumo de alimento (Martínez y Savón, 2005).

En relación a la regulación del consumo existen mecanismos a corto y a largo plazo (Forbes, 1995). Los mecanismos a corto plazo serían los determinantes del inicio y el final de las comidas individuales. Cuando la concentración de energía de la dieta es baja, actúan mecanismos físicos de regulación del consumo, dados por la capacidad y vaciamiento del rumen; mientras que cuando la concentración energética del alimento es mayor, actúan mecanismos químico-metabólicos, dados por los niveles de AGV.

Existe una relación entre digestibilidad y consumo del alimento, cuando los valores de digestibilidad se encuentran entre 60 y 80% (Hodgson, 1977), lo que indica que cuanto más digestible sea un alimento y más rápido abandone el rumen, mayor va a ser el sitio disponible para el nuevo alimento ingerido. Cuanto más digestible es un forraje, mayor será el consumo del mismo.

Según Conrad y col. (1964), los factores físicos y fisiológicos de regulación de consumo cambian en importancia a medida que aumenta la digestibilidad de la dieta. Si bien no existe un punto de corte definido, ya que hay un rango en que se superponen, los factores que regulan el consumo de alimentos de baja digestibilidad son diferentes de los que regulan el consumo de alimentos con alta digestibilidad. A bajas digestibilidades los factores de regulación son: peso vivo (reflejando la capacidad ruminal), residuo no digerido por peso vivo por día (reflejando la tasa de pasaje) y la digestibilidad de la materia seca. A digestibilidades más altas, el consumo está regulado por el peso metabólico, digestibilidad y nivel de producción.

Existen otros factores que pueden afectar el consumo tales como: trastornos digestivos, problemas metabólicos, stress y mal estado nutricional. El fotoperíodo es otro factor que afecta el consumo. El bovino generalmente consume alimento con mayor frecuencia y por tiempos más prolongados durante el día; esto se modifica en días con altas temperaturas cuando los animales consumen durante las noches, sobre todo si se trata de noches claras. Por otra parte el agrupamiento y la dominancia social en todas las especies, influye sobre el consumo (Forbes, 1995).

Forbes (2007) también propone la teoría del “*discomfort* mínimo total” (DMT). Según el autor los animales aprenden a asociar el “*discomfort*” inducido por la ingestión de alimentos tóxicos o desbalanceados, con las propiedades sensoriales de éstos. Los animales se alimentan para optimizar su confort, el aporte insuficiente de nutrientes genera “*discomfort*”, así también como la alimentación en exceso o con alimentos tóxicos. Entonces al alimentarse para alcanzar un mínimo “*discomfort*” los animales integran señales positivas y negativas que son interpretadas por el sistema nervioso central de forma aditiva (Forbes, 2007). Éstas provienen de una gran cantidad de fuentes, incluyendo receptores metabólicos, de distensión visceral, osmolaridad y del tejido adiposo. Responden a lo que el animal ha aprendido en términos de “*discomfort*” por las consecuencias de haber ingerido esos alimentos anteriormente. En conclusión, la teoría del DMT puede ser considerada semi-cuantitativa, la misma se caracteriza por incorporar y enfatizar el rol del aprendizaje en el consumo.

4.6.2. Efectos de la suplementación sobre el consumo

Al alimentar rumiantes con forraje y granos a la vez, el consumo de energía metabolizable puede ser mayor o menor que el esperado cuando se consumen de forma separada. Ésto se debe a cambios en el consumo y/o digestibilidad de los componentes fibrosos del forraje (Dixon y Stockdale, 1999).

Frente a la suplementación podemos esperar cinco tipos de respuestas diferentes (Fig.1). Una de ellas es la adición, ésta respuesta se produce cuando el animal consume la misma cantidad de forraje, además de consumir el suplemento ofrecido; por lo tanto la producción individual es mayor sin necesidad de variar la carga animal. La sustitución se produce cuando el animal ingiere menos cantidad de forraje al ingerir el suplemento ofrecido; debido a esto, la producción individual es la misma que cuando no se ofrece

suplemento, pero puede aumentarse la carga animal. Se denomina tasa de sustitución a la cantidad, en materia seca, de forraje que el animal deja de consumir por unidad de consumo de concentrado. Cuando se produce adición y sustitución al mismo tiempo, el animal ingiere el suplemento ofrecido y una menor cantidad de forraje; pero en total ingiere mayor cantidad de alimento. Este efecto implica una mayor producción individual permitiendo un aumento en la carga animal.

Reis y Combs (2000), estudiando los efectos de la suplementación con niveles crecientes de maíz en vacas lecheras alimentadas con pasturas frescas, observan el efecto de adición y sustitución, y expresan que el consumo total de MS aumenta sin causar efectos negativos en la digestión del forraje. Este efecto también fue encontrado por Lardy y col. (2004) y por Elizalde y col. (1999b), donde el consumo de MO del forraje disminuyó pero el consumo total de MO aumentó con la suplementación.

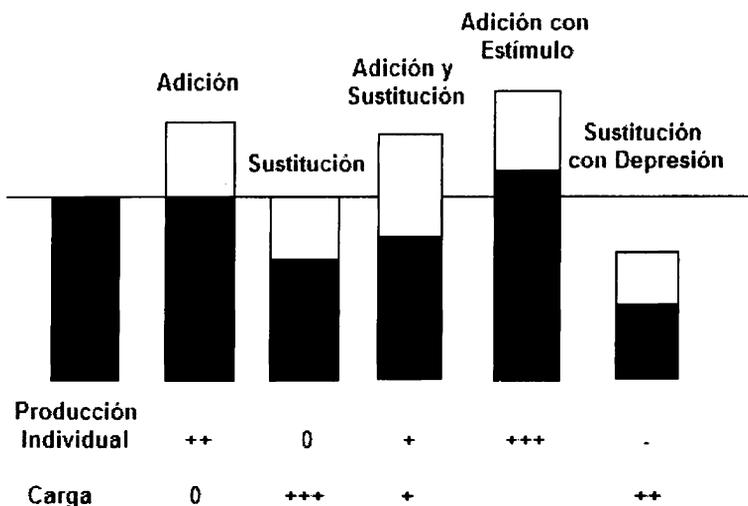
Otro efecto que puede producirse debido a la suplementación es la adición con estímulo; éste es el fenómeno que se produce cuando el animal consume el suplemento ofrecido a la vez que ingiere más cantidad de forraje; por lo tanto la producción individual es mucho mayor pero debe disminuirse la carga animal. Este hecho es muy importante ya que se ha observado que el bajo consumo de materia seca de pasturas es el factor limitante más importante en la producción de leche en vacas de alta producción (Bargo y col., 2003). Finalmente, la sustitución con depresión, se produce cuando el animal al ingerir el suplemento ofrecido, disminuye la cantidad de MS total y el forraje consumido. En este caso la producción individual es menor, pero puede aumentarse mucho la carga animal.

Según Dixon y Stockdale (1999), los efectos de asociación positivos observados cuando la suplementación aumenta el consumo y/o digestibilidad del forraje, generalmente se deben al aporte de un nutriente limitante por parte del concentrado. Los efectos de asociación negativos se observan frecuentemente, en estos casos la suplementación deprime el consumo y/o digestibilidad del forraje (Dixon y Stockdale, 1999; Hoover, 1986; Van Vuuren y col., 1993; Berzaghi y col., 1996). Elizalde y col. (1999b) encontraron que al suplementar, disminuyó el consumo de fibra sin afectar la digestibilidad de la misma. De este modo el suministro de concentrado generalmente implica una reducción del consumo de forraje, sobre todo cuando la disponibilidad y la calidad de forraje es alta.

Las tasas de sustitución son muy altas en rumiantes que se alimentan con pasturas altamente digestibles y disponibles; y bajas cuando son alimentados con forrajes de digestibilidades medias o bajas y con poca disponibilidad de los mismos (Dixon y Stockdale, 1999; Bargo y col., 2002). La tasa de sustitución, se relaciona a la disminución en el pH ruminal (debido a un mayor consumo de concentrado en relación al forraje) y digestibilidad de las pasturas, pero también a la reducción en el tiempo de pastoreo; siendo ésta más importante, ya que explica el 80% de la reducción en el consumo de MS de forraje (Bargo y col., 2002 y 2003).

En estudios realizados por Stockdale (2000), se encontró que en vacas lecheras en producción, el nivel de sustitución varió según la estación del año. La sustitución se incrementó 0,11 kg MS/ kg MS de concentrado en primavera, en comparación con el verano, y el mismo incremento se observó en verano con relación al otoño. El autor explica estos resultados debido a una variación en las características nutritivas de las pasturas a lo largo del año. El mismo estudio concluyó que en general, la sustitución aumentó 0,03 kg MS por cada kg MS adicional de concentrado ofrecido. La suplementación en vacas lecheras en producción, involucra otro factor a tener en cuenta, ya que el concentrado en la dieta puede reducir significativamente el contenido de grasa en la leche (Dixon y Stockdale, 1999).

Figura 1. Efectos de la suplementación sobre el consumo.



(Viglizzo y Otero, 1981)

5. HIPÓTESIS

Al suplementar pasturas de buena calidad con grano de sorgo molido, el consumo total de los componentes de la dieta será mayor; y el consumo de forraje disminuirá a medida que se incremente la inclusión de suplemento. Dicha suplementación, aumentará la digestibilidad de la MS y MO. La digestibilidad de la FND y FAD no se verá afectada, y se mejorará el aprovechamiento de N con el aumento del nivel de suplementación.

6. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente trabajo es estudiar, el efecto sobre el consumo, el aprovechamiento digestivo y el balance de nitrógeno de la inclusión de diferentes niveles de grano de sorgo en dietas de bovinos consumiendo una pastura templada de buena calidad.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

FACI

- Evaluar el efecto sobre el consumo total de la dieta y de pastura, de la inclusión de distintos niveles de grano de sorgo
- Estudiar el efecto sobre la digestibilidad de la MS, MO, PB, FND, FAD y almidón (ALM) de la inclusión de distintos niveles de grano de sorgo como suplemento de una dieta a base de pastura fresca en bovinos.
- Estudiar el efecto de la inclusión de distintos niveles de grano de sorgo en dietas forrajeras de buena calidad sobre el balance de nitrógeno en bovinos.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló entre los meses de noviembre y diciembre del año 2007 en el Campo Experimental N° 2 de la Facultad de Veterinaria, Universidad de la República (UdelaR), San José, Uruguay, localizado en el kilómetro 42 de la ruta 1, (34° latitud sur, 35° longitud oeste). En dicho establecimiento el Departamento de Nutrición cuenta con la Unidad de Digestión y Metabolismo Ruminal, donde fue realizado el trabajo de campo y el procesamiento primario de las muestras.

Los análisis de composición química de los alimentos y heces se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Veterinaria, UdelaR, Montevideo, Uruguay. Las determinaciones de almidón y taninos se realizaron en el Laboratorio de Bromatología y Nutrición de Rumiantes de la Universidad Federal de Santa María, Río Grande del Sur, Brasil. El cuidado de los animales y la colocación de sondas vesicales fueron realizadas siguiendo los protocolos aprobados por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (C.H.E.A), de la Universidad de la República, Uruguay.

7.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Previo al comienzo de las mediciones, los animales fueron adaptados a las instalaciones y a la dieta durante 21 días. Se utilizaron 24 vaquillonas cruza de $210 \pm 42,5$ kg de PV. Previo a la realización del experimento, los animales fueron bloqueados de acuerdo a su PV en 6 grupos y dentro de cada grupo fueron asignados al azar a uno de 4 tratamientos. Los animales fueron alojados en bretes individuales y alimentados con una dieta mixta, compuesta por pastura y grano de sorgo molido como suplemento, el cual fue suministrado según 4 tratamientos, en base a MS:

- Tratamiento 1: 0% del Peso Vivo.
- Tratamiento 2: 0,5% del Peso Vivo.
- Tratamiento 3: 1,0% del Peso Vivo.
- Tratamiento 4: 1,5% del Peso Vivo.

La composición química de los alimentos utilizados se presenta en el cuadro I. El sorgo tuvo un nivel de taninos totales de 0,80% y un nivel de taninos

condensados de 0,54% de la MS. La pastura fue implantada en abril de 2007 sin fertilización. La composición de la misma fue 91% de *Lotus corniculatus*, 5,5% de *Rye grass* y 3,5% de resto seco; y la disponibilidad fue 3317 kgMS/ha. La pastura fue cortada diariamente y ofrecida *ad libitum* a los animales, aceptando un rechazo de hasta un 20%. El grano molido hasta harina, fue ofrecido individualmente dos veces al día en cantidades iguales, a las 8:00 y 20:00 hs. Para cada grupo de tratamiento se estudió: el consumo total de la dieta ofrecida, la digestibilidad in vivo de la MS, MO, N, FND, FAD, ALM, y el balance de nitrógeno.

Cuadro I. Composición química de la pastura y el grano de sorgo consumidos por los animales durante el ensayo.

| | Pastura | Grano de Sorgo |
|-------------------|---------|----------------|
| MS (%) | 31,82 | 91,28 |
| Composición (%MS) | | |
| MO | 93,23 | 98,80 |
| N | 1,98 | 1,02 |
| FND | 41,75 | 19,20 |
| FAD | 28,75 | 6,42 |
| ALM ^a | 3,05 | 63,29 |
| CNF ^b | 35,61 | 69,73 |

^aALM = Almidón

^bCNF = Porcentaje de carbohidratos no fibrosos, calculado como: %CNF = %MO - (%PB + %FND + %EE).

7.2. DETERMINACIONES Y TÉCNICAS.

7.2.1. Consumo

El consumo total de alimento y de forraje se midió diariamente durante 11 días como la diferencia entre el alimento ofrecido y rechazado en 24 hs; se aceptó un nivel de rechazo de hasta 20%. Muestras diarias del forraje y sorgo ofrecido y del forraje rechazado fueron congeladas a -18°C para su posterior análisis. Sobre las muestras así obtenidas se determinó el contenido de MS, MO, N, FND, FAD, y ALM a fin de determinar su consumo como la diferencia entre el alimento ofrecido y el rechazado. Los resultados se expresan como % del PV.

7.2.2. Digestibilidad aparente *in vivo*

En los últimos 5 días de la medición de consumo, se colectaron y midieron diariamente la totalidad de heces producidas, tomándose una muestra diaria del 10% la cual fue identificada y congelada a -18°C para su posterior análisis químico. Las muestras fueron secadas (60°C , 48 hs), luego de lo cual, se armaron muestras compuestas de heces para cada animal respetando la proporción de heces emitidas en cada día. Sobre cada muestra compuesta así conformada se realizaron análisis de MS, MO, N, FND, FAD y ALM. El porcentaje de digestibilidad de la dieta para cada una de las fracciones químicas indicadas se determinó como: $(A-B)/A \times 100$, donde A representa los kg de la fracción de la dieta consumida y B los kg de la fracción de la dieta eliminada en heces.

7.2.3. Balance de nitrógeno

Además de la totalidad de las heces emitidas, durante los 5 días de medición de digestibilidad se colectó sobre 200 mL de una solución de H_2SO_4 al 10%, la totalidad de la orina emitida por cada animal. Diariamente se midió el volumen emitido y una muestra de aproximadamente 80 mL fue conservada a -18°C para la posterior determinación de N. El balance de N se determinó como $A-(B+C)$ donde A es el consumo de N, y B y C los gramos de N eliminados en heces y orina, respectivamente.

7.3. ANÁLISIS QUÍMICOS

Sobre todas las muestras de alimento tanto ofrecido y rechazado y de materia fecal se determinó el contenido de MS, MO y N según A.O.A.C. (1990). La determinación de los contenidos de FND y FAD se realizó de acuerdo con Goering y Van Soest (1970). El contenido de Almidón (ALM) se determinó mediante hidrólisis en H_2SO_4 0,3 M y posterior análisis de glucosa según Kozloski y col. (1999). El nivel de carbohidratos no fibrosos de las dietas (CNF) fue determinado como: $\%MO - (\%PB + \%FND + \%EE)$. El contenido de taninos totales y condensados en el sorgo se realizó según el método propuesto por Makkar (2000). Todas las muestras se analizaron por duplicado, aceptando coeficientes de variación entre análisis menores al 5 %.

7.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos de consumo, digestibilidad y retención de nitrógeno fueron comparados entre tratamientos por el procedimiento PROC MIXED de SAS (2002) de acuerdo al modelo $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$, donde μ es la media general, T_i es el efecto fijo tratamiento, B_j el efecto aleatorio bloque y e_{ij} es el error residual. El efecto de la inclusión de concentrado en la dieta se estudió por contrastes ortogonales entre las medias del grupo T1 y la de los grupos suplementados (T1 vs T2+T3+T4). El efecto del nivel de inclusión de concentrado en la dieta en los grupos suplementados se estudió por regresión lineal y cuadrática utilizando el procedimiento PROC MIXED de SAS (2002). Diferencias significativas fueron declaradas cuando $P \leq 0,05$.

8. RESULTADOS

8.1. DIETAS

En el cuadro II se presenta la composición química de las dietas consumidas en los distintos tratamientos. En todos los componentes presentados en las tablas se encontró una diferencia significativa entre el grupo no suplementado y los grupos suplementados. El porcentaje de MS, MO, ALM y CNF aumentó linealmente, con el aumento del nivel de inclusión de sorgo en la dieta. Mientras que, el porcentaje de N, FND, FNDf y FAD disminuyó linealmente a medida que se aumentó la suplementación con sorgo. El porcentaje de MOD aumentó con la suplementación pero no se vió afectado por el aumento del nivel de inclusión de sorgo en la dieta.

8.2. CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD DE MS Y COMPONENTES NO NITROGENADOS.

En el cuadro III se presentan los datos de consumo y digestibilidad de la MS y de los componentes no nitrogenados en los tratamientos realizados. El consumo total de MS, MO, ALM y MOD aumentó con la suplementación. Mientras que el aumento en el nivel de suplementación solo afectó el consumo total de ALM y MOD, mostrando un aumento lineal conforme se aumentó el nivel de suplementación. El consumo de MS y MO no varió conforme al aumento del nivel de inclusión suplemento.

El consumo de MS, MO, FND del forraje fue mayor en el tratamiento no suplementado en relación al T2, T3 y T4, y disminuyó linealmente a medida que se incrementó la inclusión de suplemento.

La digestibilidad aparente de la MS y de la MO aumentó con la suplementación, mientras que el aumento en los niveles de suplementación no tuvo efecto en estas variables. La digestibilidad aparente del ALM tendió a disminuir linealmente conforme al aumento de los niveles de suplementación. La digestibilidad aparente de FND y FAD no varió entre los distintos grupos suplementados.



Cuadro II. Composición química, nivel de FND proveniente de forraje y porcentaje de MO digestible de las dietas consumidas por vaquillonas alimentadas en base a pastura fresca y suplementadas con grano de sorgo molido a niveles del 0,5, 1,0 y 1,5% de su peso vivo.

| | Tratamientos ^a | | | | | EEM ^b | P ^c | |
|-------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------------|------------------|----------------|----|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 vs 2,3,4 | | L | C |
| MS (%) | 31,82 | 40,50 | 48,60 | 55,63 | 0,84 | <0,01 | <0,01 | ns |
| Composición (%MS) | | | | | | | | |
| MO | 93,23 | 94,04 | 94,80 | 95,46 | 0,08 | <0,01 | <0,01 | ns |
| N | 1,98 | 1,84 | 1,71 | 1,59 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | ns |
| FND | 41,75 | 38,46 | 35,39 | 32,72 | 0,32 | <0,01 | <0,01 | ns |
| FNDf ^d | 41,75 | 35,65 | 29,97 | 25,04 | 0,59 | <0,01 | <0,01 | ns |
| FAD | 28,75 | 25,49 | 22,45 | 19,81 | 0,32 | <0,01 | <0,01 | ns |
| ALM ^e | 3,05 | 11,85 | 20,05 | 27,17 | 0,85 | <0,01 | <0,01 | ns |
| CNF ^f | 35,61 | 40,59 | 45,24 | 49,27 | 0,48 | <0,01 | <0,01 | ns |
| MOD ^g | 63,11 | 67,98 | 68,12 | 70,23 | 1,63 | <0,01 | ns | ns |

^aTratamientos: T1: pastura sin suplementación; T2,T3,T4= suplementados al 0,5% , 1,0% y 1,5% del PV, respectivamente.

^bError estándar de la media (n=6 por tratamiento).

^cnivel de significancia para el contraste T1 vs T2,3,4 = Pastura contra Suplementados; L = Efecto lineal y C = efecto cuadrático del incremento en el nivel de inclusión del grano de sorgo en los grupos suplementados.

^d%FNDf = Porcentaje de Fibra Neutra Detergente proveniente de forraje.

^e%ALM = Porcentaje de almidón.

^f%CNF = Porcentaje de carbohidratos no fibrosos, calculado como: %CNF = %MO - (%PB + %FND + %EE)

^g%MOD = Porcentaje de Materia Orgánica Digestible.

Cuadro III. Consumo y digestibilidad de MS y componentes no nitrogenados de vaquillonas alimentadas en base a pastura fresca y suplementadas con grano de sorgo molido a niveles del 0,5, 1,0 y 1,5% de su peso vivo.

| | Tratamientos ^a | | | | | EEM ^b | P ^c | |
|--------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------------|------------------|----------------|----|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 vs 2,3,4 | | L | C |
| Consumo MS Total: | | | | | | | | |
| g/día | 5978 | 7295 | 7640 | 8013 | 448 | <0,01 | ns | ns |
| % del PV | 2,78 | 3,33 | 3,39 | 3,55 | 0,17 | <0,01 | ns | ns |
| Consumo MO Total: | | | | | | | | |
| g/día | 5558 | 6845 | 7228 | 7638 | 423 | <0,01 | ns | ns |
| % del PV | 2,58 | 3,13 | 3,20 | 3,38 | 0,15 | <0,01 | ns | ns |
| Consumo Total: | | | | | | | | |
| FND(%PV) | 1,15 | 1,25 | 1,14 | 1,09 | 0,07 | ns | ns | ns |
| ALM ^d (%PV) | 0,09 | 0,39 | 0,67 | 0,95 | 0,00 | <0,01 | <0,01 | ns |
| MOD ^e (%PV) | 1,75 | 2,27 | 2,30 | 2,59 | 0,12 | <0,01 | 0,05 | ns |
| Consumo de Forraje: | | | | | | | | |
| MS (%PV) | 2,78 | 2,85 | 2,44 | 2,15 | 0,17 | <0,05 | <0,01 | ns |
| MO (%PV) | 2,58 | 2,65 | 2,27 | 2,00 | 0,16 | <0,05 | <0,01 | ns |
| FND (%PV) | 1,15 | 1,18 | 1,01 | 0,89 | 0,07 | <0,05 | <0,01 | ns |
| Digestibilidad aparente: | | | | | | | | |
| MS | 63,58 | 68,40 | 68,62 | 69,17 | 2,16 | <0,05 | ns | ns |
| MO | 67,69 | 72,28 | 71,85 | 73,63 | 1,72 | <0,01 | ns | ns |
| FND | 41,05 | 43,78 | 44,15 | 44,45 | 4,32 | ns | ns | ns |
| FAD | 35,37 | 38,82 | 39,16 | 36,14 | 5,12 | ns | ns | ns |
| ALM ^d | 92,11 | 90,14 | 87,76 | 86,03 | 1,09 | <0,01 | 0,06 | ns |

^aTratamientos: T1 = Pastura sin suplementación; T2, T3, T4 = suplementados al 0,5% , 1,0% y 1,5% del PV, respectivamente.

^bError estándar de la media (n=6 por tratamiento).

^cnivel de significancia para el contraste T1 vs T2,3,4 = Pastura contra Suplementados; L = Efecto lineal y C = efecto cuadrático del incremento en el nivel de inclusión del grano de sorgo en los grupos suplementados.

^dALM = almidón.

^eMOD = Materia orgánica digestible.

8.3. CONSUMO, DIGESTIBILIDAD Y RETENCIÓN DE NITRÓGENO

En el cuadro IV se presentan los resultados de consumo, digestibilidad aparente y retención de N para los tratamientos realizados. La retención de N aumentó con la suplementación, sin presentar cambios a medida que se incrementó el nivel de suplementación. El consumo de nitrógeno del forraje disminuyó linealmente a medida que se aumentó el nivel de suplementación. El consumo total y la digestibilidad aparente del N, no varió entre los distintos tratamientos.

Cuadro IV. Consumo, digestibilidad aparente, nitrógeno urinario y retención de nitrógeno, en vaquillonas alimentadas en base a pastura fresca y suplementadas con grano de sorgo molido a niveles del 0,5, 1,0 y 1,5% de su peso vivo.

| | Tratamientos ^a | | | | | P ^c | | |
|----------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|------------------|----------------|-------|-------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | EEM ^b | T1 vs T2,3,4 | L | C |
| Consumo total (%PV) | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | ns | ns | ns |
| Consumo total (g/día) | 119,7 | 135,7 | 131,7 | 112,5 | 11,8 | ns | ns | ns |
| Consumo forraje (g/día) | 119,7 | 124,5 | 110,1 | 83,7 | 9,8 | ns | 0,01 | ns |
| Digestibilidad Aparente(%) | 61,5 | 64,8 | 61,8 | 58,8 | 2,60 | ns | ns | ns |
| Urinario (g/día) | 61,2 | 56,0 | 56,5 | 35,1 | 4,41 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Retención (g/día) | 8,2 | 29,8 | 20,1 | 34,7 | 5,07 | <0,01 | ns | ns |

^aTratamientos: T1 = Pastura sin suplementación; T2,T3,T4= suplementados al 0,5% , 1,0% y 1,5% del PV, respectivamente.

^bError estándar de la media (n=6 por tratamiento).

^cnivel de significancia para el contraste T1 vs T2,3,4 = Pastura contra Suplementados; L = Efecto lineal y C = efecto cuadrático del incremento en el nivel de inclusión del grano de sorgo en los grupos suplementados.

9. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la composición de las dietas fueron los esperados. La MS y MO aumentaron con la suplementación y con el incremento de la inclusión de grano en la dieta. Los niveles de FNDf estuvieron por encima de los recomendados para un correcto estímulo de la rumia (NRC, 2001; NRC, 1996).

El consumo total de MS y MO de la dieta obtenido en la presente investigación, aumentó con la suplementación; este aumento era esperable, y coincide con los resultados obtenidos por Reis y Combs (2000), Elizalde y col. (1999b), Lardy y col. (2004) y Pereira y col. (2007).

En lo que se refiere al consumo de MS y MO del forraje se encontraron valores decrecientes en los grupos suplementados, a medida que se incrementó el nivel de inclusión de grano en la dieta, lo que coincide con los resultados obtenidos por Dixon y Stockdale, 1999; Hoover, 1986; Van Vuuren y col., 1993; Berzaghi y col., 1996; y Elizalde y col., (1999b); lo que indica que la suplementación deprimió el consumo de forraje. En los tratamientos suplementados, el consumo de forraje fue menor que en el grupo no suplementado. Estos resultados coinciden con estudios realizados por Moore y col. (1999), donde encontraron que la suplementación disminuyó el consumo voluntario de forraje cuando el consumo total de nutrientes del suplemento fue mayor a 0,7% del peso vivo. Este autor también observó que el efecto de depresión del consumo de la fibra, que se produce al suplementar con concentrados ricos en energía, es más pronunciado cuando la pastura es de buena calidad que cuando es de mala calidad.

Si observamos el consumo total de FND, éste no varió entre los tratamientos, por lo que podríamos pensar que los animales se alimentaron hasta alcanzar un cierto nivel de FND, donde estaría actuando el mecanismo físico de regulación del consumo por llenado del rumen. Pero al observar el consumo de FND del forraje, el cual debido a su estructura es el principal componente que influye en el llenado del rumen, éste disminuyó con la suplementación y con el aumento de los niveles de inclusión de grano. Según Conrad (1964) el consumo de MS aumenta cuando una dieta es más digestible, hasta cierto punto en el que incrementos mayores en la digestibilidad de la dieta provocan caídas en el consumo. Los resultados obtenidos de digestibilidad aparente de MS y MO, aumentaron con la suplementación, por lo que, tomando lo expresado por Conrad (1964) se explicaría el aumento del consumo por la mayor digestibilidad de las dietas.

En relación a la energía consumida, Conrad (1964) expresa que cuanto más digestible es una dieta, mayor es el consumo de energía, hasta cierto nivel luego del cual éste se mantiene estable. Si consideramos la MOD como un reflejo de la energía disponible para el animal, vemos que el consumo total de la misma aumenta al suplementar la dieta, y existe un aumento con el incremento de los niveles de suplementación, estos resultados se desvían un poco de la teoría de Conrad (1964). Si bien la FND y la digestibilidad parecen actuar en la regulación del consumo, otros factores como la calidad de las pasturas utilizadas (Forbes, 2007), podrían estar interviniendo.

La digestibilidad aparente total de la dieta aumentó con la suplementación, mientras que los valores de digestibilidad aparente de MS y MO obtenidos en los tratamientos suplementados no mostraron variación. Se observa a su vez, que la digestibilidad del almidón disminuyó con el incremento de suplemento en la dieta. La disminución en la digestibilidad del almidón podría ser explicado por el contenido de taninos en el grano de sorgo, los que tienden a afectar la

digestibilidad del almidón, ya que dificultan el acceso al mismo; y cuanto mayor es su inclusión en la dieta, mayor es su efecto (Hibberd y col., 1984; Reed, 1995; Rooney y Pflugfelder, 1986). Otro factor que podría estar actuando en la disminución de la digestibilidad del almidón es la velocidad del tránsito digestivo del alimento, la cual aumenta con la inclusión de granos en la dieta. Esto disminuiría la digestibilidad del almidón porque es menor el tiempo en que se encuentra en el tracto gastrointestinal. Huntington y col. (2006) explican que la mayor limitante en el uso del almidón de la dieta es la digestión y absorción en el intestino delgado; ya que este autor encontró que la cantidad de almidón aparentemente digerida en el intestino delgado disminuye a medida que se incrementa la cantidad de almidón que llega al mismo. El grano de sorgo presenta un difícil acceso al almidón (Sauvant y col., 1994), por lo que debe sufrir algún tipo de proceso para poder ser digerido por los bovinos (Chessa, 2007; McAllister y col., 1993); en el presente trabajo el procesamiento elegido para el grano de sorgo fue el molido.

Con respecto a la digestibilidad aparente de FND y FAD en el presente estudio, no se encontró una diferencia significativa entre el tratamiento no suplementado y los tratamientos suplementados, ni una relación lineal o cuadrática entre los mismos. Existen resultados contradictorios en varios estudios, en relación al efecto de la suplementación sobre la digestibilidad de FND y FAD. En estudios realizados por Lardy y col. (2004) se encontró que la digestibilidad de la FND aumentó y la digestibilidad de la FAD disminuyó a medida que se incrementó la suplementación con cebada en novillos. En cambio Elizalde y col. (1999b) encontraron que la suplementación no afectó la digestibilidad de la fibra. Según Tebot (2008) y Bargo y col. (2003) la suplementación con concentrados reduce la digestibilidad de la FND, y según Mould y Ørskov (1983) esto se debe a la disminución de la actividad de la flora celulolítica debido a la disminución del pH ruminal. Sin embargo Cajarville y col. (2000) encontraron que el pH ruminal en animales alimentados con forraje de buena calidad y suplementados con cebada y maíz, se mantuvo dentro de los valores límites para el correcto funcionamiento de la flora celulolítica. Reis y Combs (2000) y Lardy (2004) tampoco encontraron alteraciones en el pH ruminal frente a la suplementación, mientras que Elizalde y col. (1999b) observaron una disminución en el pH ruminal al suplementar con maíz, novillos alimentados con alfalfa fresca. Pereira y col. (2007) observaron que si bien al aumentar los niveles de suplementación en la dieta aumentó el consumo de la mayor parte de los nutrientes, éste hecho no alteró la digestibilidad ruminal de los mismos. En el presente ensayo los valores medios de pH ruminal fueron de 6,80, 6,46, 6,08 y 6,17 para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente (Aguerre y col., 2008); con estos valores de pH se podría pensar que la actividad celulolítica no se vió afectada por lo que no se observaron diferencias en la digestibilidad aparente de FND y FAD.

El consumo de N del forraje disminuyó al aumentar los niveles de suplementación, lo que se explica por el menor consumo de forraje en la dieta, ya que es el componente de la dieta con mayor contenido de N. La digestibilidad aparente de N no varió, si bien nosotros esperábamos que ésta disminuya, debido al mayor aporte de carbohidratos al rumen. Éstos resultados podrían explicarse debido a que este parámetro no toma en cuenta las

pérdidas endógenas de N (células de descamación, enzimas, secreciones, etc.). A su vez éstas tienen mayor importancia a medida que disminuye el N en la dieta (McDonald, 2006)

La retención de N aumentó con la suplementación, lo que era esperable. Éstos resultados coinciden con los observados por Bargo y col. (2002) y Berzaghi y col. (1996), y podrían estar indicando un menor uso de aminoácidos como elementos neoglucogénicos (Aguerre, 2010). Al existir un menor catabolismo de aminoácidos, una mayor proporción de éstos quedaría disponible para la síntesis proteica; con lo que se podría explicar la mayor retención de N obtenida en los tratamientos suplementados. La suplementación implica una mejora en la eficiencia de utilización de nitrógeno, lo que es muy importante debido a la reducción en la eliminación de N al ambiente, ya que la producción ganadera ha sido identificada como la mayor fuente de eliminación de N al medio ambiente (Hoekstra y col., 2007).

10. CONCLUSIONES

El consumo total de MS, MO, ALM y MOD de la dieta aumentó con la suplementación, y el consumo de forraje disminuyó al suplementar y a medida que se incrementó la inclusión de suplemento.

La suplementación con grano de sorgo en dietas a base de pasturas de buena calidad, aumentó la digestibilidad de MS y MO, sin embargo el aumento en los niveles de suplementación no afectó esta variable.

Al suplementar una dieta a base de pastura fresca con grano de sorgo, se mejoró el aprovechamiento de N, pero no varió el consumo y la digestibilidad del mismo.

De los distintos niveles de inclusión estudiados el más eficiente en cuanto al aprovechamiento de nutrientes fue 0,5% del PV, ya que niveles de suplementación mayores no mejoraron el consumo, la digestibilidad ni la retención de N.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguerre, M., Cajarville, C., Mendoza, A., Carbone, R., Vera, R., Repetto, J.L. (2008) A suplementação com grão de sorgo afeta o pH de animais alimentadas com pastagens temperadas. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 45ª, UFLA, Lavras, Brasil. CD ROM.
2. Aguerre, M. (2010) Suplementación con grano de sorgo a vaquillonas consumiendo una pastura templada: efecto sobre el consumo, el aprovechamiento digestivo y el metabolismo de la glucosa. Tesis de maestría en nutrición de rumiantes, Facultad de Veterinaria, Uruguay, 45 p.
3. Association of Official Agricultural Chemists (1990) Official Methods of Analysis. 15a. ed. Washington D.C.1123p.
4. Bach A., Calsamiglia S., Stern M.D. (2005). Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 88:(E. Suppl.):E9–E21.
5. Balogun, R.O., Bird, S.H., Rowe, J.B. (2006) Germination temperature and time affect in vitro fermentability of sorghum grain. Anim. Feed Sci. Technol.; 127:125-132.
6. Baran, M.S., Demirel, R., Yokus, B. Kocabagli, N. (2008a) The effects of sorghum grain on live weight gain, feed conversion ratios and digestibility of nutrients in beef cattle. J. Anim. Vet. Adv; 7:1123-1127.
7. Baran, M.S., Gul, I., Demirel, R. (2008b). Effects of sorghum on nutrient digestibility and some milk parameters in dairy cow rations. J .Anim. Vet. Adv; 7:879-884.
8. Bargo, F., Muller, L.D., Delahoy, J.E., Cassidy, T.W. (2002) Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. J. Dairy Sci.; 85:1777-1792.
9. Bargo, F., Muller, L.D., Kolver, E.S., Delahoy, J.E. (2003) Invited Review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. J Dairy Sci; 86:1-42.
10. Berzaghi, P., Herbein, J.H., Polan, C.E. (1996) Intake, site and extent of nutrient digestion of lactating cows grazing pasture. J Dairy Sci; 79:1581-1589.

11. Bianco, A., Goñi, V., Oholeguy, S. (2000) Efecto de procesamiento y el contenido de taninos del grano de sorgo sobre la composición química y la digestión de la materia seca en rumiantes. XVIª Reunión Latinoamericana de Producción Animal, Montevideo, Uruguay. CD ROM.
12. Branine, M.E., Galyean, M.L. (1990) Influence of grain and monensin supplementation on ruminal fermentation, intake, digesta kinetics and incidence and severity of frothy bloat in steers grazing winterwheat pasture. *J. Dairy Sci.*; 79:1581-1589.
13. Cajarville, C., Aguerre, M., Repetto, J.L. (2006) Ruminal pH, NH₃-N concentration and forage degradation kinetics of cows grazing temperate pastures and supplemented with different sources of grain. *Anim. Res.*; 55:511-520.
14. Cajarville, C., Curbelo, A., Errandonea, N., Alonso, M., Aguerre, M., Repetto, J.L. (2000) Efectos de la suplementación con diferentes granos sobre el ambiente ruminal de bovinos a pastoreo. I: pH ruminal cinética de degradación de distintos forrajes. XXI Congreso Mundial de Buiatría, Punta del Este, Uruguay, pp120-126.
15. Cerrato-Sánchez, M., Calsamiglia, S., Ferret, A. (2008) Effect of the magnitude of the decrease of rumen pH on rumen fermentation in a dual-flow continuous culture system. *J Anim Sci*; 86:378-383.
16. Cheng, K.J., Costerton, J.W. (1980) Adherent rumen bacteria: their role in the digestion of plant material, urea and epithelial cells. En: Ruckebusch Y., Thivend P. (1980) Digestive physiology and metabolism in ruminant. MTP Press, Lancaster, pp 227-250.
17. Chessa, A. (2007) La calidad del sorgo como alimento animal. *Marca Líquida Agropecuaria*, 17(169):65-68.
18. Conrad, H.R., Pratt, A.D., Hibbs, J.W. (1964) Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J Dairy Sci*; 47(1): 54-62.
19. Cullen, A.J., Harmon, D.L., Nagaraja, T.G. (1986) In vitro fermentation of sugar, grains and by products feeds in relation to initiation of ruminal lactate production. *J Dairy Sci* 69:2616-2621.
20. de Veth, M.J., Kolver, E.S. (2001a) Digestion of ryegrass pasture in response to change in pH in continuous culture. *J Dairy Sci*; 84:1449-1457.
21. de Veth, M.J., Kolver, E.S. (2001b) Diurnal variation in pH reduces digestion and synthesis of microbial protein when pasture is fermented in continuous culture. *J. Dairy Sci.*; 84:2066-2072.

22. DIEA (2009a). Uruguay; Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Estadísticas agropecuarias. Montevideo, Uruguay, Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy>. Tomado el 25 de marzo del año 2010.
23. DIEA (2009b). Uruguay; Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Anuario Estadístico Agropecuario. Montevideo, Uruguay, Cap II: 54.
24. Dixon, R.M., Stockdale, C.R. (1999) Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilization. *Australian J. Agric. Res.* 50:757-773.
25. Elizalde, J. C., Merchen, N. R., Faulkner, D. B (1999a) In Situ Dry Matter and Crude Protein Degradation of Fresh Forages During the Spring Growth. *J. Dairy Sci.*; 82: 1978-1990.
26. Elizalde, J. C., Merchen, N. R., Faulkner, D. B. (1999b) Supplemental cracked corn for steers fed fresh alfalfa: I. Effects on digestion of organic matter, fiber, and starch. *J. Anim. Sci.*; 77:457-466.
27. Elizalde, J. C., Merchen, N. R., Faulkner, D. B. (1999c) Supplemental cracked corn for steers fed fresh alfalfa: II. Protein and amino acid digestion. *J. Anim. Sci.*; 77:467-475.
28. Elizalde, J.C., Santini, F.J., Pasinato, A.M., (1996) The effect of stage of harvest on the process of digestion in cattle fed winter oats indoors II. Nitrogen digestion and microbial protein synthesis. *Anim. Feed Sci. Technol.*; 64:245-255.
29. Fellner, V., Phillip, L.E., Sebastian, S., Idzcak, E. S. (2001) Effect of a bacterial inoculant and propionic acid on preservation of high-moisture ear-corn, and on rumen fermentation, digestion and growth performance of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.*; 81:273-280.
30. Forbes, J.M. (2007) Voluntary food intake and diet selection in farm animals, 2a. ed. Cambridge, CABI, 453p.
31. Forbes, J.M. (1996) Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *J. Anim. Sci.*; 74:3029-3035.
32. Forbes, J.M. (1995) Central nervous control, Integrative theories of food intake control. En: Forbes, J.M. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. Wallingford, CAB International, pp 103-151.
33. García, S.C., Santini, F.J., Elizalde, J.C. (2000) Sites of digestion and bacterial protein synthesis in dairy heifers fed fresh oats with or without corn or barley grain. *J. Dairy Sci.*; 83:746-755.
34. Goering, H.K., Van Soest, P.J. (1970) Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agric Handbook 379*, USDA. Washington, DC. 20p.

35. Heldt, J.S., Cachran, R.C., Mathis, C.P., Woods, B.C., Olson, K.C., Titgemeyer, E.C., Nagaraja, T.G., Vanzant, E.S., Johnson, D.E. (1999) Effects of level and source of carbohydrate and level of degradable protein on intake and digestion of low-quality tall-grass-prairie hay by beef steer. *J. Anim. Sci*; 77:2846-2854.
36. Hibberd, C. A., Wagner, D.G., Schemm, R. L., Mitchell, E. D., Weibel, D. E., Hintz, R. L. (1984) Digestibility characteristics of isolated starch from sorghum and corn grain. *J. Anim. Sci*; 55:1490-1497.
37. Hill, T.M., Schmidt, S.P., Russell, R.W., Thomas, E.E., Wolfe, D.F. (1991) Comparison of urea treatment with established methods of sorghum grain preservation and processing on site and extent of starch digestion by cattle. *J. Anim. Sci*; 69:4570-4576.
38. Hodgson, J. (1977) Factors limiting herbage intake by the grazing animal. International Meeting on Animal Production for Temperate Grassed. Dublin, Irlanda, p.70.
39. Hoekstra, N.J., Schulte, R.P.O., Struick, P.C., Lantinga, E.A. (2007) Pathways to improving the N efficiency of grazing bovines. *Eur. J. Agron*; 26:363-374.
40. Hoover, W.H. (1986) Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. Dairy Sci*; 69:2755-2766.
41. Hristov, A.N., McAllister, T.A., Cheng, K.J. (1997) Effect of carbohydrate level and ammonia availability on utilization of α -amino nitrogen by mixed ruminal microorganisms in vitro. Proceedings, Western Section, American Society of Anim. Sci; 48:186-189.
42. Huck, G.L., Kreikemeier, K.K., Bolsen, K.K. (1999) Effect of reconstituting field-dried and early-harvested sorghum grain on the ensiling characteristics of the grain and on growth performance and carcass merit of feedlot heifers. *J. Anim. Sci*; 77:1074-1081.
43. Huntington, G.B., Harmond, D.L., Richards, C.J. (2006) Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *J. Anim. Sci*; 84:E14-E24.
44. Huntington, G.B. (1997) Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci*; 75:852-867.
45. Jetana, T., Abdullah, N., Halim, R.A., Jalaludin, S., Ho Y.W. (2000) Effects of energy and protein supplementation on microbial-N synthesis and allantoin excretion in sheep fed guinea grass. *Anim. Feed Sci. Technol*; 84:167-181.

46. Jones-Endsley, J.M., Cecava, M.J., Johnson, T.R. (1997) Effects of dietary supplementation on nutrient digestion and the milk yield of intensively grazed lactating dairy cows. *J. Dairy Sci*; 80:3283-3292.
47. Khalili, H., Sairanen, A. (2000) Effect of concentrate type on rumen fermentation and milk production of cows at pasture. *Anim. Feed Sci. Technol*; 84:199-212.
48. Kim, K.H., Choung, J.J., Chamberlain, D.G. (1999) Effects of varying the degree of synchrony of energy and nitrogen release in the rumen on the synthesis of microbial protein in lactating dairy cows consuming a diet of grass silage and a cereal-based concentrate. *J. Sci., Food Agric*; 79:1441-1447.
49. Kolver, E.S., de Veth, M.J. (2002) Prediction of ruminal pH from pasture-based diets. *J Dairy Sci*; 85:1255-1266.
50. Kozloski, G.V., Rocha, J.B.T., Ribeiro Filho, H.M.N., Perottoni, J. (1999). Comparison of acid and amyloglucosidase hydrolysis for estimation of non-structural polysaccharides in feed samples. *J. Sci. Food Agric*; 79:1112-1116.
51. Lardy, G.P., Ulmer, D.N., Anderson, V.L., Caton, J.S. (2004) Effects of increasing level of supplemental barley on forage intake, digestibility, and ruminal fermentation in steers fed medium-quality grass hay. *J. Anim .Sci*; 82:3662-3668.
52. Leng, R.A. (1982) Modification of rumen fermentation. Nutritional limits to animal production from pastures. *Proc. of the International Symposium. Commonwealth Agricultural Bureaux, UK.* pp 56-65.
53. Makkar, H.P.S. (2000) Quantification of Tannins in Tree Foliage. *FAO (IAEA), Vienna, Austria.* 26 p.
54. Martin, C., Philippeau, C., Michalet-Doreau, B. (1999) Effect of wheat and corn variety on fiber digestion in beef steers fed high grain diets. *J. Anim. Sci*; 77: 2269-2278.
55. Martínez, M., Savón, L. (2005) La leptina, hormona clave en la regulación del consumo de alimentos y el balance energético del organismo animal. *Rev. Cub. Ciencia Agric.*; 39:3-12.
56. McAllister, T.A., Phillippe, R.C, Rode, L.M., Cheng, K.J. (1993) Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminant microorganisms. *J. Anim .Sci*; 71:205-212.
57. McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A. (2006) *Nutrición animal, 6a.ed. Zaragoza, Acribia, 587 p.*

58. Moore, J.E., Brant, M.H., Kunkle, W.E., Hopkins, D.I. (1999) Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility and animal performance. *J. Anim. Sci*; 77:122-135.
59. Mould, F.L., Orskov, E.R. (1983) Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco, dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrate. *Anim. Feed Sci. Technol*; 10:1-14.
60. Nápoli, G.M., Santini, F.J. (1988a) Suplementación energético-proteica de forrajes frescos en condiciones de pastoreo: I. Efecto sobre el medio ambiente ruminal y la degradabilidad proteica. *Rev. Arg. Prod. Anim*; Vol 8, Sup.1: 39-52.
61. Nápoli, G.M., Santini, F.J. (1988b) Suplementación energético-proteica de forrajes frescos en condiciones de pastoreo: II. Efecto sobre la cinética de la digestión ruminal de la fibra. *Rev. Arg. Prod. Anim*; Vol 8, Sup 1: 40-49.
62. 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.* 71:2107-2107.
63. NRC. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. Ed. National Academy Press, 7^{ed}. Washington D.C., USA.
64. NRC. (1996). Nutrient requirements of dairy cattle. Ed. National Academy Press, 7^{ed}. Washington D.C., USA.
65. Offner, A., Bach, A., Sauvant, D. (2003) Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106: 81-93.
66. Ørskov, E.R. (1992) Protein nutrition in ruminants. Academic Press, London NW1 7DX, Reino Unido.
67. Owens, D., Mc Gee, M., Boland, T., Kiely, P.O. (2008) Intake, rumen fermentation and nutrient flow to the omasum in beef cattle fed grass silage fortified with sucrose and/or supplemented with concentrate. *Anim. Feed Sci. Technol*; 144:23-43.
68. Pailan, G.H., Mahanta, S.K., Verma, N.C. (2008) Evaluation of sorghum stover based diets in cattle, sheep and goats. *Indian J. Anim. Sci*; 78:225-227.
69. Pereira, D.H., Gomes Pereira, O., da Silva, B.C., Leao, M.I., de Campos Valadares, S., Martins Chizzotti, F.H., Garcia, R. (2007) Intake and total and partial digestibility of nutrients, ruminal pH and ammonia concentration and microbial efficiency in beef cattle fed with diets containing sorghum (*sorghum bicolor* (L.) Moench) silage and concentrate in different ratios. *Livestock Sci*; 107:53-61.

70. Philippeau, C., Martin, C., Michalet-Doreau, B. (1999) Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site and extent of digestions in beef steers. *J. Anim. Sci*; 77:1587-1596.
71. Pichard, G., Van Soest, P.J. (1977) Protein solubility of ruminants feed. *Proc. Cornell Nutr.* pp 91-98.
72. Poore, M.H., Moore, J.A., Eck, T.P., Swingle, R.S., Theurer, C.B. (1993) Effect of fiber source and ruminal starch degradability on site and extent of digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci*; 76:2244-2253.
73. Rearte, D.H., Santini, F.J. (1989) Digestión ruminal y producción en animales a pastoreo. *Rev. Arg. Prod. Anim*; 9:93-105.
74. Reed, J. D. (1995) Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *J. Anim. Sci*; 75:1516-1523.
75. Reis, R.B., Combs, D.K. (2000) Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J. Dairy Sci*; 83:2838-2898.
76. Repetto, J.L., Curbelo, A., Melognio, E., Ortiz, R., Cajarville, C. (2005) Ruminal degradation of different genotypes of sorghum grain harvested with high or low moisture. VI Congresso Brasileiro de Buia ria. Buzios, R.J., Brazil. pp 76-83.
77. Rooney, L. W., Pflugfelder, R. L. (1986) Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci*; 63:1607-1623.
78. Russell, J.B., Sniffen, C.J., Van Soest, P.J. (1983) Effect of carbohydrates limitation on degradation and utilization of casein by mixed rumen bacteria. *J. Dairy Sci* ; 66:763-771.
79. SAS (2002) Statistical Analysis Systems Institute. SAS Version 9. SAS Institute, Cary, NC, US.
80. Sauvant, D., Grenet, E., M-Doreau, B. (1995) Dégradation chimique des aliments dans le réticulo-rumen: cinétique et importance. En: *Nutrition des ruminants domestiques*. INRA, Paris. pp 47-56.
81. Sauvant, D., Chapoutot, P., Archimede, H. (1994) La digestion des amidons par les ruminants et ses conséquences. *INRA. Prod. Anim* ; 7:115-124.
82. Stockdale, C.R. (2000) Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Aust. J. of Exp. Agric*; 40: 913-921.

83. Swingle, R.S., Eck, T.P., Theurer, C.B., De la Llata, M., Poore, M.H., Moore, J.A. (1999) Flake density of steam-processed sorghum grain alters performance and sites of digestibility by growing-finishing steers. *J. Anim. Sci*; 77: 1055-1065.
84. Tebot I. (2008) Efecto de los suplementos ricos en energía sobre la función ruminal y el metabolismo del nitrógeno en ovinos alimentados con pasto fresco. Tesis de maestría en nutrición de rumiantes, Facultad de Veterinaria, Uruguay, 68 p.
85. Trevaskis, L.M., Fulkerson, W.J., Gooden, J.M. (2001) Provision of certain carbohydrate-based supplements to pasture-feed sheep, as well as time of time of harvesting of the pasture, influences pH, ammonia concentration and microbial protein synthesis in the rumen. *Aust. J. Exp. Agric*; 41:21-27.
86. Van Soest, P.J., (1994) Nutritional ecology of the ruminant. 2a ed., Ithaca, N.Y., Cornell University Press, 476 p.
87. Van Soest, P. (1982) Nutritional ecology of the ruminant O & B Books, Corvallis, Oregon, US, 374 p.
88. Van Vuuren, A.M., Van der Koelen, C.J., Vroons de Bruin, J. (1993) Ryegrass versus corn starch or beet pulp fiber diet effects on digestion and intestinal amino acids in dairy cows. *J. Dairy Sci*; 76:2692-2700.
89. Van Vuuren, A.M., Tamminga, S., Ketelaar, R.S., (1990) Ruminal availability of nitrogen and carbohydrates from fresh and preserved herbage in dairy cows. *Netherlands J. Agric. Sci*; 30:49-512.
90. Van Vuuren, A.M., Van der Koelen, C.J., Vroons de Bruin, J. (1986) Influence of level and composition of concentrate supplements on rumen fermentation patterns of grazing cows. *Netherlands J. Agric. Sci*; 34:457.
91. Viglizzo, E.F., Otero, J. (1981) Efecto de la carga animal y de la suplementación de pasturas sobre la productividad y rentabilidad del invernadero. 8vo Congreso Argentino de Producción Animal; Buenos Aires, Argentina. pp 74-81
92. Yokohama, M.T., Johnson, K.A. (1988) Microbiología del rumen e intestino En: Church, C.D. El rumiante, fisiología digestiva y nutrición, Acribia, Zaragoza. p 137-158.