

***DIGESTIBILIDAD IN VIVO DEL GRANO DE MAÍZ ENTERO
CON DOS NIVELES DE FORRAJE
EN BOVINOS DE DIFERENTES EDADES***

- *Vet. Maresca, Sebastián*

Tesis presentada como requisito para optar al grado de

MAGÍSTER SCIENTIAE

- *Curso de Posgrado*
- *Maestría en Producción Animal.*
- *Facultad de Ciencias Agrarias – U.N.M.d.P.
Balcarce, 2003*

**DIGESTIBILIDAD IN VIVO DEL GRANO DE MAÍZ ENTERO
CON DOS NIVELES DE FORRAJE
EN BOVINOS DE DIFERENTES EDADES**

- Vet. Sebastián, Maresca

Aprobada por:

.....

- Francisco J. Santini, Ing. Agr., Ms. Sc., PhD.
Consejero principal.

.....

Juan C. Elizalde, Ing. Agr., Ms. Sc., PhD.

- Miembro del comité consejero.

.....

Enrique Pavan. Ing. Agr., Ms. Sc.

Miembro del comité consejero.

INDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 3 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 2. HIPOTESIS DE TRABAJO..... | 8 |
| 3. OBJETIVOS..... | 9 |
| 4. REVISION BIBLIOGRAFICA..... | 10 |
| 2.1. Utilización de grano de maíz..... | 10 |
| 2.2. Utilización de grano de maíz entero..... | 11 |
| 2.3. Factores que afectan la utilización del grano de maíz entero..... | 13 |
| 2.3.1. Edad o tamaño corporal..... | 13 |
| 2.3.2. Nivel de forraje..... | 15 |
| 2.3.3. Tipo de grano..... | 19 |
| 2.3.4. Nivel de alimentación..... | 19 |
| 2.3.5. Efecto del animal..... | 20 |
| 2.4. Sitios de digestión del almidón..... | 20 |
| 2.4.1. Sitio de digestión y eficiencia energética..... | 22 |
| 2.5. Relación pH - concentración de almidón en heces..... | 23 |
| 5. MATERIALES Y METODOS..... | 24 |
| 5.1. Lugar..... | 24 |
| 5.2. Duración..... | 24 |
| 5.3. Animales experimentales..... | 24 |
| 5.4. Tratamientos..... | 25 |
| 5.4.1. Nivel de forraje..... | 25 |
| 5.4.2. Edad de los animales..... | 26 |
| 5.5. Dieta..... | 27 |
| 5.6. Toma de muestras y análisis químico..... | 27 |
| 5.6.1. Del alimento..... | 27 |
| 5.6.2. Heces..... | 28 |
| 5.6.3. Granos en heces..... | 28 |
| 5.7. Mediciones..... | 29 |
| 5.7.1. Tiempo de masticación ingestiva y rumia..... | 29 |
| 5.7.2. Consumo de materia seca | 29 |
| 5.7.3. Digestibilidad total de la MS, almidón y FDN..... | 29 |

| | |
|---|----|
| 5.7.4. Partículas de grano en heces..... | 30 |
| 5.7.5. Crecimiento de los animales..... | 31 |
| 5.8. Diseño experimental y análisis estadístico..... | 31 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 32 |
| 6.1. Masticación ingestiva y rumia | 32 |
| 6.2. Consumo y digestibilidad de la materia seca..... | 35 |
| 6.3. Consumo y digestibilidad de la FDN..... | 36 |
| 6.4. Digestibilidad del almidón y pH fecal..... | 39 |
| 6.5. Tamaño de partícula del grano en heces..... | 43 |
| 6.6. Granos enteros en heces..... | 45 |
| 6.7. Efecto del tamaño de los granos..... | 48 |
| 6.8. Granos enteros dañados en heces..... | 51 |
| 6.9. Pérdida de peso del grano entero..... | 53 |
| 6.10. Composición química de los granos en heces..... | 54 |
| 7. CONCLUSIONES..... | 57 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA..... | 59 |

• **INDICE DE TABLAS Y FIGURAS**

| | |
|---|----|
| Figura 1: Relación entre el nivel de forraje en la dieta y digestibilidad del almidón..... | 18 |
| Figura 2: Relación entre el tiempo de masticación total (min./kg MS) y la edad (meses)..... | 33 |
| Figura 3: Partículas de grano retenidas en cada tamiz. 6mm (A), 5mm (B), 3,25mm (C), 2,25mm (D)..... | 45 |
| Figura 4: Tamaño de los granos. (A) Granos grandes, retenidos en el tamiz de 6 mm. (B y C) Granos chicos, retenidos en el tamiz de 5mm..... | 49 |
| Figura 5: Granos dañados..... | 51 |
| Tabla 1: Efecto del peso vivo y nivel de forraje sobre la digestibilidad del almidón..... | 17 |
| Tabla 2: Componentes de cada dieta (% de materia seca)..... | 26 |
| Tabla 3: Composición química de los ingredientes de las dietas (% de la materia seca)..... | 26 |
| Tabla 4: Composición química de las dietas (% de la materia seca)..... | 26 |
| Tabla 5: Edad, peso y alzada en cada etapa..... | 27 |
| Tabla 6: Efecto del nivel de forraje y edad de los animales sobre el tiempo de masticación ingestiva y rumia..... | 35 |
| Tabla 7: Digestibilidad <i>in vivo</i> de la materia seca de raciones con dos niveles de forraje en bovinos de diferentes edades..... | 36 |
| Tabla 8: Digestibilidad <i>in vivo</i> de la FDN de raciones con dos niveles de forraje en bovinos de diferentes edades..... | 39 |
| Tabla 9: Digestibilidad <i>in vivo</i> del almidón de raciones con dos niveles de forraje en bovinos de diferentes edades..... | 39 |
| Tabla 10: Relación entre porcentaje de almidón y pH en heces..... | 43 |
| Tabla 11: Porcentaje de partículas de grano retenidas en cada tamiz..... | 44 |

| | |
|---|----|
| Tabla 12: Efecto de la edad y el nivel de forraje sobre el porcentaje de granos enteros recuperados en heces..... | 48 |
| Tabla 13: Efecto del tamaño de los granos sobre el porcentaje de granos enteros recuperados en heces..... | 51 |
| Tabla 14: Efecto de la edad y nivel de forraje sobre el porcentaje de granos enteros dañados en heces..... | 52 |
| Tabla 15: Efecto de la edad y nivel de forraje sobre la pérdida de peso de los granos..... | 54 |
| Tabla 16: Digestibilidad del almidón de 100 granos de maíz enteros..... | 55 |
| Tabla 17: Digestibilidad de la proteína de 100 granos de maíz enteros..... | 56 |

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la edad de los animales y el nivel de forraje en la dieta sobre la utilización del grano de maíz entero. Se utilizaron 8 terneras Holando Argentino con un peso vivo inicial de $216,9 \pm 12,6$ kg y $13 \pm 0,18$ meses de edad. Se establecieron dos tratamientos definidos por el nivel de forraje (**NF**) de la dieta: Alta Forraje (**AF**, 69% de la materia seca total de henolaje de alfalfa, 30% de grano de maíz entero, 1% sales minerales) y Bajo Forraje (**BF**, 10% de henolaje de alfalfa, 73% de grano de maíz entero, 15% harina de soja, 1% urea, 1% sales minerales). Junto con la dieta se suministró 7,5 gr de Oxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador externo para determinar la producción total de heces. Los dos tratamientos se evaluaron en cuatro etapas de crecimiento definidas por la edad y peso de las terneras: 13, 15,5, 18 y 20,5 meses y 217, 271, 337 y 398 kg respectivamente. El trabajo se realizó bajo un diseño en cross-over repetido en el tiempo. El alimento fue ofrecido cada 12h restringido en un 10% del consumo voluntario. El tiempo de masticación ingestiva y de rumia por unidad de consumo disminuyeron ($P < 0,05$) con el incremento de la edad (25,9, 18,0, 15,7 y 16,0 para masticación ingestiva; 48,3, 37,1, 28,8 y 32,6 min/kg MS para rumia para 13, 15,5, 18 y 20,5 meses, respectivamente). La Digestibilidad de la MS y del almidón también disminuyeron ($P < 0,05$; $P < 0,01$) con el aumento de la edad de los animales. La dieta **BF** permitió una mayor ($P < 0,01$)

digestibilidad del almidón **AF**: 82,1%; **BF**: 86,0%). La digestibilidad de la FDN no fue afectada por la edad, sin embargo, se observó una tendencia ($P=0,17$) a disminuir cuando los animales crecían. Se observó un aumento ($P<0,01$) del porcentaje de granos enteros en heces con el incremento de la edad. El porcentaje de granos enteros recuperados en heces fue mayor ($P<0,01$) en el tratamiento **AF** (25,7%) que en **BF** (15,5%) independientemente de la edad. Los granos de menor tamaño escaparon a la masticación en mayor porcentaje que los de mayor tamaño (34% vs. 19%; $P<0,01$). Los granos enteros recuperados en heces sufrieron una pérdida de peso del 28,6% y la digestibilidad del almidón y la proteína bruta contenida en los estos granos fue del 24% y 32,4% respectivamente. Los resultados obtenidos indican que la eficiencia en la masticación disminuye cuando aumenta la edad, generando un incremento en el porcentaje de granos enteros que escapan a la masticación y una disminución en la digestibilidad del almidón. Si bien aparecen granos enteros en las heces, sufren cierto grado de aprovechamiento en función de su tamaño y daños por masticación. El incremento del nivel de forraje también genera un aumento del porcentaje de granos enteros en heces y una disminución de la digestibilidad del almidón.

Palabras clave: grano de maíz entero, nivel de forraje, edad.

ABSTRACT

The objective of this trial was to evaluate the effect of age of cattle and forage level on utilization of whole corn grain. Eight Holstein heifers with $216,9 \pm 12,6$ kg of body weight and $13 \pm 0,18$ months old were used. Two treatments were defined by forage level (**FL**) in the diet: High Forage (**HF**), comprised by 69% of dry matter of alfalfa haylage, 30% whole corn grain, 1% minerals; and Low Forage (**LF**), comprised by 10% alfalfa haylage, 73% whole corn grain, 15% soybean meal, 1% urea and 1% minerals. With the diet, 7,5 gr Chromic oxide (Cr_2O_3) were included as external marker to determine total fecal production. These treatments were evaluated on four stages of growth, determined by age and body weight of heifers: 13, 15.5, 18 y 20,5 months and 217, 271, 337 y 398 kg, respectively. The experiment layout was a cross-over design. Feed was offered every 12 hours and restricted to 90% of voluntary intake. Animal growth was associated with decreased eating and rumination time per kg of dry mater intake ($P < 0,05$; 25,9, 18,0, 15,7 y 16,0; 48,3, 37,1, 28.8 and 32,6 min/kg DM to 13, 15,5, 18 and 20,5 months to age, respectively). Dry mater and starch digestibility also decreased ($P < 0,05$; $P < 0,01$) with increased animal age. The low forage diet was associated with greater starch digestibility ($P < 0,01$; **HF**: 82,1%; **LF**: 86,0%). FDN digestibility was not affected by age, however, tended to decrease ($P = 0,17$) with animal age. Whole corn grain recovered from feces increased ($P < 0,01$) as age increased, and was

greatest ($P < 0,01$) in **HF** diet (25,7%) than **LF** diet (15,5 %). Whole corn grain of smaller size escaped to the chewing in major percentage than whole corn grain of larger size (34% vs 19%; $P < 0,01$). Whole grain recovered from feces was lighter 28,6% than ingested corn. Starch and protein digestibility of consumed whole grain were 24% y 32,4% respectively. Results of this work suggest that chewing efficiency decreased as age increased. A higher percentage of whole grain escapes chewing and decrease starch digestibility. Although, whole grain appeared in feces, a certain degree of utilization depending on grain size and damage due to chewing was detected. Lastly high roughage in the diet increased the proportion of whole grain recovered in feces and decreased starch digestibility.

Key word: whole corn grain, forage level, age.

1. INTRODUCCION

El grano de maíz es uno de los cereales más utilizados en la alimentación de ganado de nuestro país, debido a su bajo costo por unidad energética. Durante muchos años se han estudiado las formas de mejorar su utilización por los rumiantes, con especial énfasis en los diferentes métodos de procesamiento.

Con el objetivo de mejorar la utilización del almidón, principal componente de este grano, varios autores han demostrado que el efecto del procesado es aumentar la digestibilidad del almidón en todo el tracto digestivo (Galyean et al., 1979b; Lee et al., 1982; Murphy et al., 1994; Ramírez et al., 1985). Sin embargo, a medida que el método de procesado es más intenso, se generan disminuciones en las ganancias diarias de peso vivo o en la eficiencia de conversión asociadas con disminuciones en el consumo de materia seca, atribuidas a las altas tasas de fermentación ruminal, que se traducirían en acidosis metabólicas en los animales (Fulton et al., 1979 a, b; Owens et al., 1997).

Varios autores (Nordin y Campling, 1976; Stritzler et al., 1980; Beuchemin et al., 1994), determinaron que el grano de maíz entero es prácticamente indigestible en rumen, y en el intestino (Galyean et al., 1979b). Si el grano se suministra entero la única manera de exponer el almidón al ataque microbiano y a las enzimas digestivas es a través del procesamiento por la masticación que el animal realice durante la ingestión y la rumia (Morgan y Campling, 1978; Orskov, 1979). Si bien el grano de maíz entero puede ser suficientemente dañado durante la masticación ingestiva y la rumia, el grado de ruptura que sufre el grano durante dicha masticación, dependería de la edad de los animales (Morgan y Campling, 1978). Según estos autores, los animales jóvenes muestran una mayor digestibilidad del almidón y menor cantidad de granos enteros en las heces con respecto a los adultos, indicando que la masticación es más eficiente. Nordin y Campling (1976) y Stritzler et

al. (1983), utilizando animales de dos edades diferentes encontraron diferencias en la habilidad para digerir el grano de maíz entero debido a que los animales mas jóvenes mostraron un mayor tiempo de masticación por kg de materia seca ingerido. Sin embargo, Horton y Holmes (1975) y Morgan et al., (1978) incluyendo un 30% de forraje en la dieta, no encontraron un efecto marcado de la edad sobre las proporciones de granos de maíz y cebada enteros en las heces.

Además de la edad de los animales, el nivel de fibra en la dieta es otro factor que puede afectar el sitio y magnitud de la digestión del almidón del grano de maíz entero (Vance et al., 1972). Cole et al. (1976), hallaron una mayor digestibilidad del almidón en dietas basadas en grano entero sin fibra que con la adición de 7 a 21% de cáscara de semilla de algodón. En adición, Nordin y Campling (1976), observaron que cuando el nivel de henolaje de alfalfa, en la materia seca total de la dieta, disminuía de 50% a 10%, la digestibilidad del grano de maíz entero aumentaba en un 10%. Estos autores atribuyen este efecto a que el tiempo de permanencia de los granos en el rumen fue 14 hs mayor en el tratamiento con bajo nivel de heno, incrementando las posibilidades de regurgitación y masticación de los granos y aumentando el tiempo de exposición de las partículas de granos a los microorganismos ruminales.

Fuertes variaciones entre animales en su habilidad para utilizar el grano de maíz entero fueron halladas por varios autores (Wilson et al., 1973; Morgan y Campling, 1976; Beauchemin et al., 1994), pudiendo alterar los resultados en algunos casos, ya que en la mayoría de los trabajos evaluados se utilizó un bajo numero de animales (3 a 4) y se compararon dos grupos de animales de distintas edades, por lo cual, las diferencias halladas podrían confundirse con efectos propios del animal. Por otro lado, son escasos los antecedentes bibliográficos en donde se evalúe la utilización del grano de maíz entero con niveles de forraje altamente contrastantes (70 vs. 10%).

En el presente estudio se pretende establecer la magnitud del efecto del nivel de forraje y la edad del animal sobre la utilización del grano de maíz entero.

2. HIPOTESIS DE TRABAJO

1. La digestibilidad total de la materia seca de la dieta es:
 - mayor en las etapas tempranas de crecimiento de los animales.
2. La digestibilidad total de la FDN de la dieta es:
 - mayor en las etapas tempranas de crecimiento de los animales.
2. La digestibilidad total del almidón es:
 - mayor en animales jóvenes que en animales adultos.
 - mayor en dietas con bajo nivel de forraje.
3. El tiempo de masticación ingestiva y rumia/ kg de materia seca ingerida:
 - disminuye gradualmente conforme aumente la edad y peso de los animales.
 - es mayor en dietas con alto nivel de forraje.
4. Tamaño de partícula del grano en heces es:
 - menor en animales jóvenes que en animales adultos.
 - menor en dietas con bajo nivel de forraje.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general:

Conocer el efecto de la edad del animal y de dos niveles de inclusión de forraje en la dieta sobre la digestibilidad del almidón del grano de maíz entero.

3.2. Objetivos específicos:

Determinar el efecto del nivel de forraje y la edad sobre:

2. La digestibilidad total de la materia seca, almidón y FDN.
3. El tiempo de masticación ingestiva y rumia.
4. El tamaño de partícula, peso y composición química de los granos en las heces.

4. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

4.1. UTILIZACIÓN DE GRANO DE MAÍZ

El grano de maíz es uno de los granos más utilizados en la alimentación de ganado en una amplia zona de nuestro país, especialmente cuando se desea obtener altos niveles de producción individual en bovinos para carne. Este grano puede utilizarse en diferentes niveles en la dieta de acuerdo a los objetivos de producción. En la mayoría de los sistemas productivos de nuestro país la ganadería es básicamente pastoril y el grano de maíz se utiliza para cubrir las variaciones estacionales que sufren las pasturas tanto en calidad como en producción de materia seca. En estos sistemas las proporciones de grano no superan el 40% del total de la materia seca suministrada, para no deprimir la digestibilidad de la fibra (Santini y Elizalde, 1993). Mientras que en sistemas de engorde a corral donde se buscan alcanzar altos niveles de producción para terminación, el grano puede representar hasta el 90% de la materia seca total de la dieta.

El almidón es la principal fuente de energía de este grano y su óptima utilización es fundamental para mejorar la eficiencia de producción (Theurer, 1986). Durante muchos años se ha estudiado la forma de mejorar la utilización del almidón por los rumiantes, con especial énfasis en los diferentes métodos de procesamiento. Una gran variedad de procesamientos han sido desarrollados (partido, molido, copos, reconstituido, cosechado con alta humedad, etc.) los cuales varían en costo y efectividad. El objetivo que se desea lograr con el procesado es aumentar la digestibilidad del grano y mejorar sus características para el mezclado y suministro (Owens et al., 1997).

El principal efecto que tiene el procesado sobre el grano de maíz es favorecer la ruptura de la matriz proteica que contiene los gránulos de almidón lo cual es esencial para permitir el ataque de los microorganismos ruminales (Theurer, 1986). Si bien, varios autores han

demostrado que el procesado aumenta la digestibilidad del almidón en todo el tracto digestivo (Galyean et al., 1976; Lee et al., 1982; Murphy et al., 1994; Ramírez et al., 1985), a medida que los métodos de procesado son mas intensos se genera en los animales disminuciones en las ganancias diarias de peso vivo o en la eficiencia de conversión (Fulton et al., 1979 a, b; Owens et al., 1997). Según estos autores la reducción de las ganancias de peso estarían asociadas con disminuciones en el consumo de materia seca, atribuidas a las altas tasa de fermentación ruminal, que se traducirían en acidosis metabólicas en los animales.

4.2. UTILIZACIÓN DE GRANO DE MAIZ ENTERO

El efecto del procesado depende del tipo de grano utilizado. En general, las ventajas comparativas de cualquier tipo de procesamiento respecto del grano entero son menores para el grano de maíz que para otros granos como sorgo, avena y cebada.

Las ventajas de ofrecer grano de maíz procesado versus entero disminuyen a medida que el nivel de grano en la ración aumenta. Lazzari et al. (1986), trabajando con novillos adultos (410 kg), alimentados con grano de maíz entero y partido en cuatro niveles, determinaron que cuando el maíz representaba un 40, 55 y 70% de la dieta, la digestibilidad total de la materia seca en las dietas conteniendo grano de maíz partido era significativamente mayor que las que contenían grano entero. Sin embargo, cuando el nivel de grano fue del 85% dichas diferencias desaparecían. La explicación a esta respuesta sería que la incidencia de acidosis aumenta cuando se suministra el grano procesado, mientras que con el grano entero estas alteraciones difícilmente se produzcan. Si bien, la digestibilidad del almidón es mayor con los granos procesados, la diferencia probablemente pueda no ser reflejada enteramente en la respuesta productiva animal, como consecuencia de las alteraciones digestivas anteriormente mencionadas.

Según diversos autores el uso de grano de maíz entero tendría las siguientes ventajas:

- a. El nivel de fibra a utilizar en la dieta puede ser bajo, ya que el grano entero tiene el suficiente tamaño como para estimular la rumia mejorando la masticación y el partido del grano independientemente de la habilidad del animal para poder masticarlo.
- b. Al utilizar un menor nivel de fibra, aumenta la concentración energética y la digestibilidad de la dieta.
- c. Se genera una fermentación más lenta y prolongada en el tiempo, lo que se traduce en menores riesgos de acidosis ruminal, abscesos hepáticos y reducidas eficiencias de conversión.
- d. Se evitan costos operativos y económicos del procesado.

Cuando el grano se suministra con altas proporciones de fibra (60% o más) el efecto del procesado sobre la digestibilidad del grano sería positivo debido a un aumento de la tasa de fermentación ruminal (Orskov, 1986). Los altos niveles de forraje generan altas tasas de pasaje disminuyendo el tiempo de permanencia del grano en el rumen. Esto afecta significativamente la digestión del grano entero ya que este requiere de mayor tiempo de permanencia en el tracto digestivo para lograr una digestión mas completa. Por esto, al incluir grano entero en dietas basadas en forrajes se podría esperar un menor aprovechamiento. Sin embargo, son escasas las evaluaciones que determinan en que medida la digestión del almidón del grano de maíz entero se ve deprimida al ofrecer niveles altos de forraje a animales de diferentes edades y si esta depresión es compensada o no por la mayor intensidad con que los animales jóvenes mastican el grano.

4.3. FACTORES QUE AFECTAN LA UTILIZACIÓN DE GRANO DE MAÍZ ENTERO

4.3.1. Edad o tamaño corporal

La masticación tiene como objetivo reducir el tamaño de partícula del alimento, y junto con la salivación, aumentar la solubilidad de los nutrientes. Esto genera una mayor accesibilidad de los microorganismos hacia la porción interior del alimento, favoreciendo la fermentación del almidón (Beauchemin et al., 1994).

Si el grano no es dañado durante la masticación, la digestión se ve severamente afectada ya que la ruptura del pericarpio que rodea al grano de maíz es necesaria para liberar los gránulos de almidón (Theurer, 1986). Beauchemin et al. (1994), observaron que menos del 35% del almidón del grano de maíz entero desaparece luego de una incubación ruminal de 96 hs. Esta baja degradabilidad ruminal se explicaría por la resistencia del pericarpio a la colonización bacteriana. Estos autores, observaron que la degradabilidad del grano de maíz en el rumen se incrementaba del 16 al 68% debido solamente a la masticación ingestiva.

El tamaño de partícula y el tipo de grano podrían ser factores que determinen el tiempo que los animales dedican a la masticación durante la ingestión. Beauchemin et al. (1994), estudiaron el comportamiento de vacas alimentadas con diferentes tipos de granos enteros, y comprobaron que existe una relación inversa entre tiempo dedicado a la masticación ingestiva y el tiempo dedicado a la masticación durante la rumia. Para el maíz, el tiempo de masticación ingestiva fue mayor que el tiempo dedicado a la rumia, encontrando resultados inversos para los granos de trigo y cebada. Si bien, los granos que no son masticados durante la ingestión pueden ser dañados durante la rumia, el bajo porcentaje de granos de maíz recuperados enteros de las heces (49,5%), en comparación con los de

trigo y cebada (82,4 y 75%) permite demostrar la importancia de la masticación ingestiva en la utilización del grano de maíz. Gingins et al. (1983), observaron que en novillos Angus de 270 kg de peso vivo, alimentados con un 60% de maíz entero en la dieta, el porcentaje de granos que llegaba al rúmen dañados por la masticación ingestiva fue del 75% y solo un 8% de los granos fue dañado durante la rumia. Estos resultados marcan la importancia de la masticación ingestiva sobre la utilización del grano de maíz entero.

El grado de ruptura que sufre el grano durante la masticación depende de la edad de los animales (Morgan y Campling, 1978). Según estos autores, los animales jóvenes tienden a tener una mayor digestibilidad del almidón y menor cantidad de granos enteros en las heces con respecto a los adultos debido a que la masticación es más eficiente. Stritzler y Gingins (1983), determinaron el porcentaje de granos de maíz ingeridos que llegan enteros al rúmen de bovinos de distinto peso, y demostraron claramente que existe una relación inversa entre la masticación de los granos y el peso del animal. A mayor peso ocurre menor masticación, independientemente del tipo de grano utilizado.

Nordin y Campling (1976) encontraron diferencias con respecto a la habilidad para digerir el grano de maíz entero en animales jóvenes (287 kg) y adultos (613 kg). Los animales jóvenes mostraron un mayor tiempo de masticación por kg de materia seca ingerido, que se relacionó directamente con una menor proporción de granos enteros en heces. Horton y Holmes (1975) observaron una correlación negativa entre el número de granos enteros en heces y la digestibilidad de la materia orgánica de la dieta. Estos autores observaron un coeficiente de 0,55 para animales jóvenes y de 0,60 para animales adultos.

Owens et al. (1986) observaron en novillos Holando alimentados a corral, altas tasas de consumo y bajas eficiencias de conversión, debido a que la masticación durante la ingestión y rumia es limitada, y el almidón pasa a través del tracto digestivo con escasa digestión. En

adición, Fordyce y Kay (1974), encontraron que la tasa de quebrado por masticación de partículas plásticas en animales con un peso de 170 o 250 kg era mayor que en novillos de 442 kg. Sin embargo, Horton y Holmes (1975) no encontraron un efecto marcado de la edad sobre las proporciones de granos de maíz entero en las heces utilizando dietas con un 30% de forraje.

Otro factor que modificaría la utilización del grano de maíz entero relacionado con la edad de los animales sería el tamaño del orificio retículo omasal. Fordiche y Kay (1974) observaron un mayor tiempo de retención de partículas plásticas en el rumen de animales de 172 Kg de peso vivo que en animales de 258 Kg. Al parecer, los animales jóvenes tienen un orificio retículo - omasal pequeño que dificulta el pasaje de los granos enteros. Esto favorece la rumia incrementando la posibilidad del ataque de las enzimas bacterianas por una mayor superficie y tiempo de permanencia en el rúmen (Galyean et al., 1979b). En animales grandes, las posibilidades de rumiar el grano serían menores por el mayor tamaño del orificio retículo - omasal, con lo cual un mayor porcentaje de granos enteros pasarían al tracto posterior (Santini y Elizalde, 1993).

4.3.2. Nivel de forraje.

La proporción de forraje en la dieta es uno de los factores que puede afectar el sitio y magnitud de la digestión del almidón del grano de maíz entero (Vance et al., 1972 y Cole et al., 1976). La inclusión de forraje en dietas basadas en grano está directamente relacionada con el tiempo que los animales dedican a la masticación ingestiva y a la masticación durante la rumia (Sudweeks et al., 1975). Sin embargo, Nordin y Campling (1976) observaron que la digestibilidad del maíz caía y el porcentaje de granos enteros en las heces aumentaba de 12 a 28% al aumentar el nivel de heno de alfalfa de 14 a 48%, en dietas con grano de maíz entero. Esto se debería a la estratificación de la digesta en el

rumen. Los granos enteros, de mayor peso específico, se situarían en estratos inferiores del rumen donde las posibilidades de regurgitación y remasticación son menores. En adición, Cole et al. (1976) utilizando novillos de 390 kg observaron una mayor digestibilidad del almidón en dietas basadas en grano de maíz entero sin fibra que con la inclusión de 7 a 21% de cáscara de semilla de algodón.

Por otro parte, cuando los granos son suministrados con altos niveles de forraje (más del 50%) la tasa de pasaje a través del rumen puede acelerarse. Esto podría reducir el tiempo de digestión ruminal y la extensión de la digestión en todo el tracto digestivo, ya que el flujo de la digesta hacia el íleon también se incrementa en la medida que aumenta el nivel de fibra en la dieta (Zinn y Owens, 1980). Nordin y Campling (1976), alimentando novillos de 258 kg de peso, observaron que cuando la proporción de heno de alfalfa en la dieta disminuía de 50 a 10%, el tiempo de permanencia de granos teñidos en el tracto digestivo se incrementaba de 70 a 84 hs. Esto permitiría incrementar las posibilidades de regurgitación y masticación de los granos, aumentando el tiempo de exposición de las partículas de granos a los microorganismos ruminales.

Gingins et al. (1983) trabajando con animales de 270 kg de peso vivo demostraron que los granos de maíz enteros recuperados de las heces experimentan una pérdida en su peso original del 20%, indicando que existe cierto grado de aprovechamiento por parte de la población bacteriana. El tiempo de permanencia de este grano en el tracto digestivo entonces jugaría un rol importante en la eficiencia de utilización. Sin embargo no se conoce en que medida el nivel de forraje en la dieta afecta la pérdida de peso de los granos enteros y cual es la magnitud de la digestión de sus diferentes componentes.

Un último factor que podría afectar la utilización del grano de maíz entero en dietas con alto nivel de forraje es la mayor avidez con que los granos son consumidos. Empíricamente se concluye que los animales

seleccionan los granos y los ingieren con mayor rapidez, disminuyendo la eficiencia de masticación.

| TABLA 1. EFECTO DEL PESO VIVO Y NIVEL DE FORRAJE SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DEL ALMIDÓN | | | | |
|--|----------------|-------------|-----------|------------------|
| Autores | Peso vivo (kg) | Forraje (%) | Grano (%) | Dig. almidón (%) |
| Vance et al. (1972) | 247 | 0,0 | 88,5 | 94,8 |
| | 247 | 50,0 | | 92,8 |
| Cole et al. (1976) | 390 | 0,0 | 90,0 | 96,4 |
| | 390 | 7,0 | 82,0 | 94,7 |
| | 390 | 14,0 | 74,0 | 92,1 |
| | 390 | 21,0 | 66,0 | 95,4 |
| Nordin y Campling (1976) | 258 | 10,0 | 83,0 | 87,9 |
| | 258 | 10,0 | 90,0 | 93,1 |
| | 258 | 50,0 | 50,0 | 78,1 |
| | 258 | 50,0 | 50,0 | 84,4 |
| Galyean et al. (1979) | 272 | 4,8 | 72,0 | 88,2 |
| Russell et al. (1980) | 400 | 5,0 | 90,0 | 90,4 |
| | 400 | 5,0 | 90,0 | 90,6 |
| Russell et al. (1981) | 225 | 5,0 | 90,0 | 96,7 |
| | 225 | 5,0 | 90,0 | 96,8 |
| Ginguins et al. (1983) | 270 | 60,0 | 38,0 | 71,5 |
| Turgeon et al. (1983) | 351 | 10,0 | 85,0 | 91,5 |
| Ramirez et al. (1985) | 183 | 10,0 | 67,0 | 93,0 |
| Murphy et al. (1994) | 400 | 0,0 | 80,0 | 90,3 |
| | 400 | 0,0 | 80,0 | 95,9 |
| Secrist et al. (1996) | 408 | 8,0 | 82,0 | 94,4 |
| Reinhardt et al. (1998) | 166 | 10,0 | 77,0 | 88,4 |
| | 166 | 10,0 | 77,0 | 89,8 |
| Maresca et al. (2000) | 136 | 30,0 | 40,0 | 81,0 |
| Grigera et al. (2001) | 300 | 68,0 | 32,0 | 84,7 |
| Pordomingo et al. (2002) | 269 | 0,0 | 73,5 | 88,4 |
| | 155 | 0,0 | 73,5 | 88,5 |
| | 269 | 10,2 | 72,0 | 88,4 |
| | 155 | 10,2 | 72,0 | 90,0 |

A partir de la bibliografía, se evaluó la correlación entre peso vivo, nivel de forraje en la dieta y digestibilidad del almidón. En la Tabla 1 se muestra un resumen de 15 trabajos y 29 tratamientos en donde se determinó la digestibilidad del almidón de dietas que contienen grano de maíz entero, con niveles de forraje que variaron entre 0 y 68%. Para estudiar la correlación entre peso vivo y digestibilidad del almidón, se clasificaron los tratamientos en dos grupos de acuerdo al nivel de forraje, bajo nivel de forraje (BF): 0 a 21% y alto nivel de forraje (AF): 30 a 68%.

No se observó correlación entre peso vivo (kg) y digestibilidad del almidón ($P > 0,05$) para ninguno de los rangos establecidos. El nivel de forraje se correlacionó negativamente con la digestibilidad del almidón ($P < 0,01$; Figura 1). Con cada incremento del 5% en el nivel de forraje, la digestibilidad del almidón cayó una unidad porcentual. Otros factores como tipo de grano, nivel de alimentación y variaciones propias del animal en su habilidad para utilizar los granos pueden estar afectando los resultados.

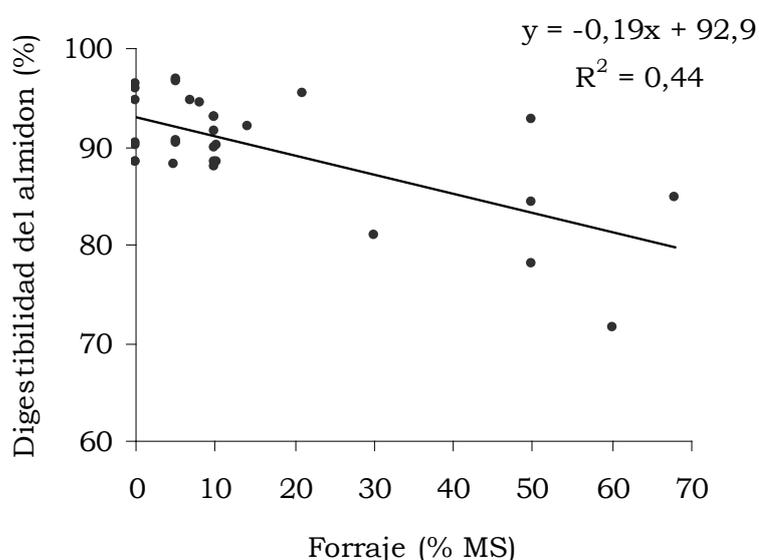


Figura 1. Relación entre nivel de forraje en la dieta y digestibilidad del almidón.

4.3.3. Tipo de grano

Una de las formas de mejorar la utilización del almidón por los rumiantes es a través de la elección de cultivares más aptos para la alimentación del ganado vacuno. Existen amplias variaciones en la composición química entre granos de maíz flint y dentados, básicamente debidas a las proporciones relativas de su endosperma harinoso y corneo. El grano de maíz dentado posee una mayor proporción de endosperma harinoso respecto del grano de maíz tipo flint (Philippeau y Michalet - Doreau, 1998). En el endosperma harinoso, los gránulos de almidón presentan una envoltura proteica delgada y discontinua, mientras que en endosperma corneo esta envoltura es mas gruesa, completa y de mayor resistencia a la proteólisis bacteriana. Esto determina su mayor resistencia física a la masticación, al ataque bacteriano y por ende una menor digestibilidad (Philippeau et al., 1999).

La mayor proporción de endosperma harinoso característica del grano de maíz dentado, no solo determina su menor resistencia física a la masticación sino también que una mayor proporción de su almidón se encuentre incluido en una matriz proteica que ofrece menos resistencia al ataque bacteriano.

4.3.4 Nivel de alimentación

Uno de los factores que puede influenciar el grado de daño físico que el grano sufre durante la masticación ingestiva es el nivel de alimentación. Según Beauchemin et al. (1994) y Luginbuhl et al. (1989), los animales que sufren una restricción en la alimentación aumentan la velocidad de consumo del forraje, aumentando el tamaño de partícula del alimento en el rumen post-ingestión. Un efecto similar se podría encontrar en animales consumiendo granos de cereal enteros. Según Reinhardt et al. (1998), una restricción del 15% en el consumo de una dieta compuesta por un 77% de grano de maíz entero

generó un aumento del tamaño de partícula de los granos recuperados del rumen y una disminución del 14% en la digestibilidad ruminal del almidón respecto de animales consumiendo a voluntad (39% vs. 54%).

4.3.5. Efecto del animal

Beauchemin et al. (1994) y Luginbuhl et al. (1989) han notado una considerable variación entre animales de una misma edad, con respecto al daño físico que éstos causan al alimento durante la masticación ingestiva. Esta variación se debería principalmente a diferencias en la tasa de consumo entre animales, siendo el daño mucho menor en los animales que consumen más rápidamente. En adición, Morgan y Campling (1978) observaron grandes diferencias entre animales de una misma edad con respecto a la cantidad de granos enteros de cebada y avena recuperados en heces, lo que estuvo indirectamente relacionado con la digestibilidad del almidón.

4.4. SITIOS DE DIGESTION DEL ALMIDON

Una vez que el grano es dañado durante la masticación, el tamaño de partícula determina la digestión total del almidón y la proporción de almidón que se digiere en los distintos sitios del tracto digestivo de los rumiantes. Galyean et al. (1979b), utilizando dietas basadas en grano de maíz entero y procesado con diferentes tamaños de partícula, demostraron que la digestibilidad total del almidón no se modifica. Sin embargo, la digestibilidad ruminal del almidón fue notablemente mayor con los granos procesados que con el grano entero, mientras que los valores de digestión intestinal fueron inversos.

La digestión ruminal del almidón del grano de maíz expresada como una proporción de la digestión del almidón en el total del tracto digestivo es aproximadamente del 78,5%. Este valor puede variar entre 65% para granos poco procesados y 85% para granos con procesados

más extensos. Generalmente a mayor procesado se incrementa la digestión ruminal del almidón con una reducción del flujo de almidón a intestino delgado (Owens et al. 1986). Trabajos experimentales han determinado que el grano de maíz que alcanza el rúmen e intestinos entero es prácticamente indigestible (Stritzler et al., 1980; Beauchemin et al., 1994; Galyean et al., 1979b).

El procesado del maíz provoca un aumento en la proporción del almidón que se fermenta en el rúmen, así como también un aumento en la digestibilidad en el intestino delgado, mientras que se reducen las pérdidas fermentativas en el intestino grueso (Huntington, 1997).

Al proveer altos niveles de grano entero en la dieta podría alcanzarse un límite en la digestión intestinal del almidón (Huntington, 1997). Límites a la digestión han sido observados cuando se infundió almidón en dosis crecientes en el intestino delgado (Little et al., 1968). Los resultados de estos experimentos fisiológicos pueden no ser representativos del normal flujo de almidón en intestino delgado, ya que los pulsos y dosis pueden exceder los normales, y la forma física y composición química del almidón infundido (tamaño de partícula y solubilidad) difieren del almidón que normalmente escapa a la digestión ruminal (Owens et al., 1986). A pesar de estas limitaciones varios estudios sugieren que la digestión del almidón en el intestino delgado de los rumiantes es incompleta. Los factores que podrían estar involucrados pueden incluir 1) limitada actividad amilasa, maltasa o isomaltasa o una inadecuada producción, inadecuadas condiciones de trabajo o presencia de enzimas inhibitorias; 2) limitada absorción de glucosa liberada desde el intestino delgado; 3) insuficiente tiempo para completar la hidrólisis del almidón y 4) inadecuado acceso de las enzimas a los gránulos de almidón.

El tamaño de partícula del grano puede limitar la digestión postruminal del mismo. El flujo de almidón a intestino delgado generalmente se incrementa cuando el grano se suministra entero, ya que las partículas que alcanzan este sitio usualmente son grandes y

escasamente atacadas por las enzimas (Owens et al., 1986). En estos casos, si bien la digestibilidad del almidón que alcanza el intestino es mas baja, la cantidad total es mayor. Esto a llevado a la conclusión errónea de que la digestión del almidón en intestino delgado es mayor cuando se suministra grano de maíz entero. La menor digestibilidad obtenida con grano entero puede ser compensada por la mayor concentración de almidón que alcanza el intestino delgado con este tipo de dietas. Esto puede generar que la cantidad total de almidón digerida en este sitio no cambie marcadamente por el procesado (Owens et al., 1986).

En el intestino grueso la fermentación se reanuda. De un 30 a un 60% del almidón que abandona el intestino delgado es fermentado en el intestino grueso de los bovinos. La fermentación en este sitio compensa la fermentación incompleta en rumen (Orskov et al., 1970).

4.4.1. Sitios de digestión y eficiencia energética

El sitio de absorción condiciona la eficiencia con que la glucosa es utilizada. En general se obtiene una mayor eficiencia si se absorbe como tal en intestino delgado que si se obtiene por gluconeogénesis hepática a partir del propionato en rúmen (Owens, 1986). Estudios indican que el almidón es utilizado en el rúmen con un 70% de eficiencia con respecto al intestino delgado, para ganancia de peso. Estos valores son similares a los determinados por infusiones ruminales versus abomasales de glucosa (69 a 76%; Armstrong, 1960) y calculada como cantidad de energía neta para producción (62 a 82% Black, 1971) por diferencia en menor pérdida de energía como metano, calor de fermentación, digestión y excreciones. Entonces, como fuente de energía, el almidón digerido en intestino delgado provee un 42% más de energía que el digerido en el rúmen. Sin embargo, reduciendo la digestión en el rumen, se reduce la cantidad de energía disponible para

los microorganismos ruminales y podría decrecer el suministro de proteína microbiana disponible para el animal.

4.5. RELACIÓN PH-ALMIDÓN EN HECES

El pH fecal puede ser un buen indicador de la eficiencia de utilización del almidón en rumiantes alimentados con alta proporción de concentrados (Lee et al., 1982). Wheeler y Noller (1977) observaron que valores bajos de pH estaban fuertemente asociados a altas cantidades de almidón en heces de ganado alimentado con alta proporción de concentrados. El coeficiente de correlación entre pH y almidón en heces fue de -0,82 y -0,94 para dos ensayos respectivamente. Estos autores sugieren que el aumento del almidón fecal puede estar relacionado a una inadecuada actividad de las enzimas en el intestino delgado. Esto es posible si el pH intestinal se encuentra por debajo de los valores de pH óptimos para la actividad de la amilasa pancreática u otras enzimas amilolíticas. Por otro lado, Galyean et al. (1979a), quienes también hallaron correlación negativa entre almidón y pH fecal, sugieren que bajos valores de pH fecal pueden ser generados por un incremento de actividad microbiana y producción de lactato, como consecuencia de un incremento de sustrato, en este caso almidón, en el intestino grueso.

Resultados de otros trabajos no permiten confirmar los anteriores, ya que Russell et al. (1981), Lee et al. (1982) y Turgeon et al. (1983) solo encontraron moderadas correlaciones negativas y Galyean et al. (1979b) variando el tamaño de partícula del grano de maíz, encontraron una correlación positiva entre estas variables.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Lugar

El ensayo se realizó en los corrales del área de Nutrición y Metabolismo del Departamento de Producción de Animal correspondiente a la Unidad Integrada I.N.T.A, E.E.A. Balcarce – Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.

5.2. Duración

El ensayo tubo una duración de 8,3 meses comenzando el 10 de Abril y finalizando el 20 de Diciembre de 2001. Estuvo comprendido por cuatro etapas con una duración de 30 días cada una. Estas a su vez se dividieron en dos períodos (cross-over) de 15 días (10 días de acostumbramiento a la dieta y 5 días de toma de muestras). Entre cada etapa se realizó un intervalo de 45 días donde los animales fueron alojados grupalmente en un corral donde se les suministró alimento *ad libitum* para permitir una tasa de crecimiento de 0,8 kg de ganancia diaria de peso vivo.

5.3. Animales Experimentales

Se utilizaron 8 terneras de raza Holando Argentino, con un peso vivo inicial de $216,9 \pm 12,6$ kg y $13 \pm 0,18$ meses de edad. Se alojaron en corrales individuales, provistos de agua a voluntad. Antes de iniciar cada etapa los animales fueron dosificados con Ivermectina inyectable (1 cm^3 cada 100 kg de PV) para evitar la incidencia de endo o ectoparásitos.

5.4. Tratamientos

Los tratamientos se definieron por el nivel de forraje en la dieta y por la edad de las vaquillonas.

5.4.1. Nivel de forraje

El nivel de forraje en cada dieta determinó los dos tratamientos: Alto nivel de Forraje (AF) y Bajo nivel de Forraje (BF). En la Tabla 2 se detalla la composición de las dietas. Se utilizó harina de soja peleteada y urea en la dieta con bajo forraje para lograr igual nivel de proteínas en ambas dietas. Dos veces al día, junto con el alimento, se suministró sesquióxido de cromo como marcador de la fracción sólida para estimar la producción total de heces. El cromo se suministró peleteado junto con afrechillo de trigo y saborizante en una concentración del 3,3%.

La Tabla 3 muestra la composición química de cada ingrediente de la dieta. El henolaje que se utilizó como fuente de fibra se confeccionó en el mes de marzo de 2001, a partir de una pastura de alfalfa pura con un 5% en floración y una disponibilidad de 1700 kg de MS por hectárea al momento del corte. El grano de maíz utilizado fue del tipo flint y en todos los casos provino de una partida única.

La composición química de cada dieta se muestra en la Tabla 4. Si bien, se pretendió obtener dietas isoproteicas, el bajo porcentaje de proteínas hallado en el grano de maíz generó una diferencia de 1,5 unidades porcentuales a favor del tratamiento AF.

| TABLA 2. COMPONENTES DE CADA DIETA (% DE MATERIA SECA). | | |
|---|-------------------|-------------------|
| | AF ⁽¹⁾ | BF ⁽²⁾ |
| Grano de maíz entero (tipo flint). | 29,2 | 73,1 |
| Henolaje de alfalfa. | 68,2 | 9,7 |
| Harina de soja peleteada. | -- | 13,5 |
| Urea. | -- | 1,1 |
| Sales minerales ⁽³⁾ | 0,7 | 0,7 |
| Afrechillo de trigo + Cr ₂ O ₃ ⁽⁴⁾ | 1,9 | 1,9 |
| ⁽¹⁾ AF: Alto nivel de forraje. ⁽²⁾ BF: Bajo nivel de forraje. ⁽³⁾ Suplemento comercial + 40% de conchilla. ⁽⁴⁾ Peleteado a base de afrechillo + 3,3 % Cr ₂ O ₃ + saborizante. | | |

| TABLA 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS INGREDIENTES DE LAS DIETAS (% DE LA MATERIA SECA). | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | MS | MO | DMS | DMO | PB | FDN | FDA | Alm. |
| Grano de maíz | 90,3 | 98,3 | 74,0 | 73,8 | 6,9 | 10,1 | 3,8 | 70,5 |
| Henolaje de alfalfa | 61,5 | 90,1 | 68,1 | 66,9 | 23,2 | 35,7 | 27,8 | 0,0 |
| Harina de soja | 87,1 | 93,2 | 92,0 | 91,5 | 42,4 | 14,2 | 9,7 | 0,2 |
| Afrechillo de trigo | 88,8 | 94,1 | 71,5 | 72,8 | 13,9 | 31,9 | 11,6 | 27,4 |

| TABLA 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIETAS (% DE LA MATERIA SECA). | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | MS | MO | DMS | DMO | PB | FDN | FDA | Alm. |
| Alto Forraje | 70,5 | 92,6 | 69,9 | 69,0 | 18,2 | 28,1 | 20,4 | 21,3 |
| Bajo Forraje | 87,5 | 95,6 | 75,0 | 74,7 | 16,7 | 13,6 | 7,1 | 52,5 |

5.4.2. Edad de los animales

Los dos niveles de forraje (AF y BF) se evaluaron en 4 etapas de crecimiento de los animales, determinadas por la edad, 13, 15,5, 18 y 20,5 meses respectivamente. En la Tabla 5 se muestra la edad, alzada y

peso vivo de las vaquillonas en cada etapa. Durante el ensayo los animales ganaron peso a una tasa de 0,710 kg/día, y aumentaron su alzada en 3,21 cm/mes, permitiendo un normal crecimiento y desarrollo.

| TABLA 5. EDAD, PESO Y ALZADA EN CADA ETAPA | | | | |
|--|--------|-------|-------|-------|
| | Etapas | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Edad (meses) | 13,0 | 15,5 | 18,0 | 20,5 |
| Alzada (cm) | 104,1 | 113,8 | 117,8 | 131,4 |
| Peso vivo (kg) | 216,9 | 270,6 | 337,4 | 398,0 |

5.5. Dieta

La dieta se suministró dos veces al día (a las 8:00 y 20:00 hs), en partes iguales, como ración completamente mezclada (RCM). Durante 5 días previos al inicio de cada una de las 4 etapas experimentales se determinó el consumo voluntario máximo de una ración compuesta por un 50% de henolaje de alfalfa y 50% de grano de maíz, fijándose el consumo de la etapa experimental en un 90% del consumo voluntario. De esta forma se logró el consumo total del alimento suministrado y por lo tanto, mantener las proporciones de cada componente de la dieta. Entre cada etapa experimental, las vaquillonas fueron alimentadas *ad libitum* con una dieta compuesta por un 70% de silo de planta entera de maíz y un 30% de expeller de girasol.

5.6. Toma de Muestras y Análisis Químico

5.6.1. Del alimento (grano de maíz, henolaje de alfalfa y harina de soja)

En cada etapa experimental se tomaron dos muestras para el análisis de:

- Materia seca (MS) mediante secado en estufa a 60 °C hasta peso constante.
- Materia orgánica (MO) por calcinación de la muestra a 600 °C durante 4 hs.
- Proteína bruta (PB) por kjeldhal semi Micro (Ovejero, 1987).
- Digestibilidad *in vitro* de la MS y MO (Tilley y Terry, 1963).
- Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) (Goering y Van Soest, 1970).
- Almidón (Mc Rae y Armstrong, 1968).
- Tamaño de partícula por tamizado (Ensor, 1970).

5.6.2. Heces

Durante los últimos 5 días de cada período se tomaron 3 muestras rectales de heces por día. Las muestras fueron refrigeradas a 4°C para formar, luego de cada período de muestreo, un pool que representó aproximadamente el 15% de la producción total de heces en el período. Sobre el pool se evaluó:

- Concentración de óxido de cromo por espectrofotometría de absorción atómica (Williams et al., 1962).
- MS mediante secado en estufa a 60C° hasta peso constante.
- FDN y FDA (Goering y Van Soest, 1970).
- Almidón (Mc Rae y Armstrong, 1968).
- pH por medio de peachimetro portátil DIGI-SENSE® directamente sobre cada muestra inmediatamente después de obtenida.

5.6.3. Granos en heces

Sobre los granos de maíz enteros recuperadas en los tamices se determinó:

- Almidón (Mc Rae y Armstrong, 1968).
- Proteína bruta (PB) por kjeldhal semi Micro (Ovejero, 1987).

5.7. Mediciones

5.7.1. Tiempo de masticación ingestiva y rumia

Durante el último día de cada período se estudió el comportamiento animal. Se realizaron determinaciones visuales cada cinco minutos durante 24 hs para observar descanso, rumia o consumo de alimento. Para obtener el tiempo total destinado a cada actividad se multiplicó el total de observaciones para cada variable por cinco (Legner, 1979).

5.7.2. Consumo de materia seca

Durante cada etapa se determinó el consumo diario individual de materia seca por diferencia entre el suministro y remanente de alimento.

5.7.3. Digestibilidad total de la MS, almidón y FDN

Para la determinación de la producción total de heces se utilizó un marcador externo de fase sólida (Cr_2O_3). El cálculo se realizó utilizando la dosis de cromo suministrada por día y la concentración de cromo recuperada en heces según el siguiente cálculo (Faichney, 1975 y 1993):

$$\frac{\text{Dosis del marcador infundida (gr/día)}}{\text{Concentración del marcador en heces (gr/gr MS)}}$$

El flujo de materia seca, almidón y FDN se determinó multiplicando su concentración por el consumo de MS y la producción total de heces (MS). La digestibilidad de la MS, del almidón y la FDN se calculó como la diferencia entre lo consumido y excretado en heces, sobre lo consumido.

5.7.4. Partículas de grano en heces

A partir del pool de muestras de heces de los últimos 5 días de cada período se extrajo, por dilución y decantación, las partículas de grano de maíz. Luego del lavado, las partículas de grano se secaron en estufa durante 48 hs a 60 °C hasta peso constante y se tamizaron en tamices de 6, 5, 3.25, 2.25, y 1 mm de diámetro, para realizar las siguientes determinaciones:

- a) Tamaño de partículas del grano: se determinó el porcentaje de partículas de grano retenidas en cada tamiz y el tamaño medio de las partículas.
- b) Porcentaje de granos enteros: se determinó a partir de la cantidad de granos enteros consumidos y excretados.
- c) Tamaño de los granos enteros: se clasificó a los granos enteros recuperados en el tamiz de 6 mm como granos grandes y a los granos enteros recuperados en el tamiz de 5 mm como granos chicos. A partir de esta clasificación se determinó el porcentaje de granos grandes y chicos excretados enteros en heces.
- d) Porcentaje de granos enteros dañados: macroscopicamente se determinó el porcentaje de granos enteros que sufrieron daños en su pericarpio.
- e) Pérdida de peso de los granos enteros: se determinó a partir de la diferencia de peso entre 100 granos consumidos y 100 granos excretados.
- f) Digestibilidad del almidón y proteína de los granos enteros: se determinó por diferencia entre la cantidad de almidón y proteína contenida en 100 granos ingeridos y excretados.

5.7.6. Crecimiento de los animales

Para evaluar el crecimiento de los animales se determinó:

- a. Evolución del peso vivo: por pesadas individuales cada 15 días.
- b. Espesor de grasa dorsal: por mediciones ultrasonográficas a la altura del 12° y 13° espacio intercostal.
- c. Alzada: mediciones a la altura de las vértebras sacras.

5.8. Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de Cross Over con medidas repetidas en el tiempo. El análisis de los datos se realizó mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS GLM, 1990) según el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} : \mu + t_i + c_j + a_K + (t*c) + \epsilon_{ijk}$$

Donde :

μ : es la media poblacional.

t_i : Efecto del i-esimo tratamiento (i=2).

c_j : Efecto de la j-esima etapa de crecimiento (j=4)

a_K : Efecto de la K-esimo animal.

$t*c$: Efecto de la interacción tratamiento y etapa de crecimiento.

ϵ_{ij} : Desviación al azar de la j-esima etapa del i-esimo tratamiento (error experimental).

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Masticación ingestiva y rumia

El tiempo dedicado (min/día) a la masticación ingestiva, rumia y masticación total (ingestiva + rumia) no fue afectado ($P>0,05$) por la edad de los animales, siendo en promedio de 144, 279 y 423 min/día, respectivamente (Tabla 6). Sin embargo, cuando estas variables se relacionaron con la cantidad de materia seca (MS) consumida, se observó una disminución ($P<0,05$) en función de la edad (masticación ingestiva: 25,9, 18,0, 15,7 y 16,0; rumia: 48,3, 37,1, 28,8 y 32,6; y masticación total: 74,2, 55,1, 44,5 y 48,6 min/kg de MS para 13, 15,5, 18 y 20,5 meses, respectivamente. Figura 2). Estos resultados concuerdan con los hallados por Nordin y Campling, (1976), quienes observaron que el tiempo dedicado a la masticación ingestiva y rumia (min./día) fue igual en novillos de 287 kg que en vacas de 613 kg de peso vivo. Sin embargo, cuando estas variables se expresaron en función del consumo de materia seca, los novillos demoraron la mitad de tiempo que las vacas en ingerir y rumiar un kg de MS. Bae et al. (1983) utilizando una dieta compuesta por heno, también observaron que la tasa de masticación ingestiva, rumia y total (min/kg MS), disminuyó en función del tamaño corporal (peso metabólico).

El análisis de regresión lineal múltiple (método stepwise) en este estudio, indicó que la edad fue la variable que explicó el mayor porcentaje de la variación en la tasa de masticación total (AF: R^2 : 0,43 y BF: R^2 : 0,49) y que el aporte de las variables peso, peso metabólico y alzada no fueron significativas ($P>0,15$). Welch (1982) observó una relación indirecta entre el peso metabólico y el tiempo de rumia (min) por gramo de pared celular ingerida (R^2 : 0,85) en terneros, vaquillonas y vacas (rango de peso de 119 a 561 kg). Bae et al. (1983), en 59 bovinos con un rango de pesos mayor (261 a 861 kg) y de edades (1 a 11 años), demostraron que el peso metabólico (peso $Kg^{0,75}$) es la variable que

explica la mayor proporción de la variación en el tiempo de masticación por kg de materia seca ingerida ($R^2: 0,73$).

El peso corporal ha sido correlacionado positivamente con la superficie molar por Shipley et al. (1994). Por lo tanto, un incremento en cualquier característica dental estaría relacionada con una mejora en la eficiencia de masticación. Entonces, la eficiencia de masticación y el peso corporal podrían estar positivamente correlacionados. Sin embargo, la relación directa entre estas variables se confunde con la relación entre comportamiento masticatorio y peso corporal. Shipley et al. (1994) observaron que el número de masticaciones por gr de alfalfa ingerido disminuye con el aumento del peso corporal ($R^2: 0,85$). Estos autores también hipotetizan que el tamaño de partícula deglutido podría ser función exponencial negativa de la masticación /gr MS.

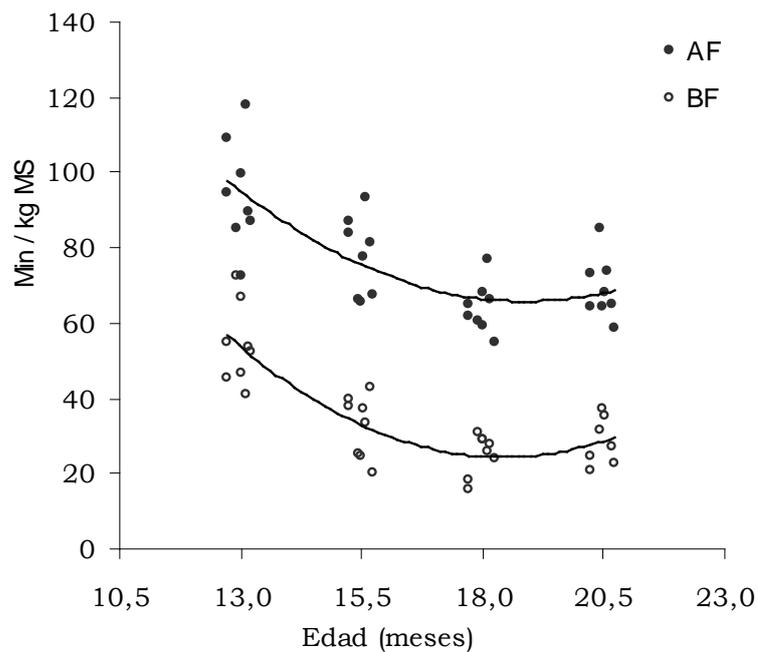


Figura 2. Relación entre tiempo de masticación total (min / kg MS) y edad (meses) para cada tratamiento.

Debido a que las vaquillonas utilizadas en este ensayo se encontraban en fase de crecimiento, edad, peso y alzada se correlacionaron linealmente (R^2 : 0,93). Si se hubiese continuado el experimento en fases de crecimiento donde el peso y la edad no se correlacionan linealmente, el peso vivo sería la variable que explica la variación en la tasa de masticación, como lo indica Welch (1982) y Bae et al. (1983), con un rango más amplio de edades.

El tiempo de masticación total, ingestiva y rumia (min/día) fue mayor ($P < 0,01$) en la dieta con alto nivel de forraje que en la dieta con bajo nivel (581 vs 266; 191 vs 98 y 390 vs 169, respectivamente). Lo mismo sucedió cuando estas variables se relacionaron al consumo de MS (min/kg). El tiempo de masticación total en la dieta con alta fibra duplicó a la dieta con baja fibra (76,3 vs 34.9 min/kg MS para AF y BF, respectivamente; $P < 0,01$), a través de las diferentes edades. Esta disminución se debió a una disminución en el tiempo de masticación ingestiva (AF: 25.1 vs BF: 12.8), como así también en el de rumia (AF: 51,3 vs BF: 22,2). Varios autores han demostrado que el nivel de forraje en la dieta está directamente relacionado con el tiempo de masticación ingestiva y rumia. Sudweeks et al. (1975), observaron que la disminución de la proporción de grano de maíz y el aumento de la proporción de forraje del 30 al 90%, aumenta el tiempo de masticación total de 387 a 713 min/día. Santini et al. (1992), trabajando con cabras y Clark et al. (1999), trabajando con vacas lecheras, obtuvieron similares resultados.

En el presente ensayo la interacción NF * Edad fue significativa cuando las variables se expresan en minutos por día. Esto se debió a una caída en el tiempo de masticación ingestiva y rumia en la dieta BF cuando las vaquillonas tenían 15,5 y 18 meses de edad.

| TABLA 6. EFECTO DEL NIVEL DE FORRAJE Y EDAD DE LOS ANIMALES SOBRE EL TIEMPO DE MASTICACIÓN INGESTIVA Y RUMIA. | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|---------|
| | Edad (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | | | |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | Edad | NF | Edad*NF |
| Mast. Ingestiva | | | | | | | | | | | |
| Min./día | 185 | 120 | 180 | 85 | 188 | 86 | 209 | 99 | NS | ** | * |
| Min./kg MS | 32 | 19,7 | 24,5 | 11,6 | 21,6 | 9,9 | 22,0 | 10,0 | * | ** | NS |
| Rumia | | | | | | | | | | | |
| Min./día | 358 | 210 | 391 | 155 | 370 | 131 | 442 | 179 | NS | ** | ** |
| Min./kg MS | 62,1 | 34,4 | 53,2 | 21,1 | 42,5 | 15,1 | 47,1 | 18,2 | * | ** | NS |
| Mast. Total | | | | | | | | | | | |
| Min./día | 543 | 330 | 571 | 240 | 558 | 218 | 651 | 278 | NS | ** | ** |
| Min./kg MS | 94,5 | 54,1 | 77,7 | 32,3 | 63,8 | 25,1 | 69,0 | 28,2 | * | ** | NS |
| AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje NS: no significativo. * P<0,05. ** P<0,01 | | | | | | | | | | | |

6.2. Consumo y digestibilidad de la materia seca

El consumo expresado en kg de MS, aumentó ($P<0,01$) linealmente en función de la edad, a una tasa de 0,620 kg por mes (Tabla 7). Sin embargo, el consumo expresado como porcentaje del peso vivo no se modificó ($P>0,05$) con la edad, alcanzando un valor promedio de 2,72%. Consumos similares (2,6% y 2,7%) fueron informados por García et al. (2000) y Grigera (2001) alimentando vaquillonas y novillos Holando Argentino de 319 y 300 kg de peso vivo. No se hallaron diferencias entre tratamientos ($P>0,05$) para ninguna de estas variables.

La digestibilidad *in vivo* de la materia seca (DMS) fue afectada por la edad de los animales ($P<0,05$; Tabla 7). Se observó una disminución lineal ($P<0,01$) de la DMS conforme aumentó la edad, 77,9%, 76,4%, 72,5% y 69,1% para 13, 15,5, 18 y 20,5 meses de edad, respectivamente, aunque el índice de correlación fue bajo (R^2 : 0,25). La tasa de disminución de la digestibilidad fue de -1,23 unidades porcentuales por cada mes de edad. Estos resultados coinciden con los hallados por Nordin y Campling (1976), quienes encontraron una mayor

digestibilidad de la materia orgánica en novillos que en vacas, independientemente del nivel de fibra en la dieta. En adición, Morgan y Campling (1978), observaron que la digestibilidad de la materia orgánica de una dieta con 40% de grano de avena tendía a disminuir de 63% a 51% en la medida que la edad avanzaba de 7 a 16 meses.

La digestibilidad de la dieta con alto forraje fue menor ($P < 0,05$) que la dieta con bajo forraje (71,9% vs. 76,1%). Similares resultados obtuvieron Nordin y Campling (1976), al disminuir el nivel de heno de alfalfa de 48% a 14% observaron un aumento de la digestibilidad de la materia orgánica de 65% a 72%. Lazzari y otros (1986), también observaron una disminución de la digestibilidad de la materia seca de 83% a 65% en función del aumento de heno de 15% al 60%.

TABLA 7. DIGESTIBILIDAD *IN VIVO* DE LA MATERIA SECA DE RACIONES CON DOS NIVELES DE FORRAJE EN BOVINOS DE DIFERENTES EDADES.

| | Edad (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
|-------------------------|--------------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|----|----------|
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | Edad | NF | Edad *NF |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | | | |
| Consumo (kg MS/día) | 5,78 | 6,09 | 7,33 | 7,21 | 8,67 | 8,54 | 10,68 | 10,66 | ** | NS | NS |
| Cons % PV | 2,7 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 2,7 | 2,7 | NS | NS | NS |
| Prod. Fecal (kg MS/día) | 1,35 | 1,26 | 1,84 | 1,57 | 2,63 | 2,10 | 3,21 | 2,98 | ** | NS | NS |
| Dig. Total (%) | 76,6 | 79,2 | 74,8 | 78,1 | 69,6 | 75,5 | 66,5 | 71,7 | * | * | NS |

AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje
NS: no significativo. *: $P < 0,05$. **: $P < 0,01$

6.3. Consumo y digestibilidad de la FDN

La digestibilidad de la FDN no fue diferente entre edades (Tabla 10). Se observó una tendencia ($P = 0,17$) a disminuir cuando los animales eran adultos, 64,2%, 60,8%, 56,5% y 55,4% para 13, 15,5, 18 y 20,5 meses respectivamente. Resultados similares fueron publicados por Morgan y Campling (1976) quienes observaron una tendencia a

disminuir la digestibilidad de la celulosa en la medida que vaquillonas crecían de 7 a 16 meses de edad en dietas compuestas por 40% heno y 40% grano de cebada o avena.

Nordin y Campling (1976) en novillos y vacas de 13,5 y 60 a 120 meses de edad, encontraron pequeñas diferencias ($P < 0.05$) en la digestibilidad de la celulosa a favor de las vacas (68% vs. 70%). Similares resultados obtuvieron Horton y Holmes (1975) con animales de 176 y 390 kg y dietas con 46% de alfalfa y 53% de grano de maíz entero, con alta humedad, tratado con ácido propiónico. Estos autores hipotetizaron que una mayor eficiencia en la masticación del grano entero en animales jóvenes puede estar relacionada con una rápida fermentación ruminal del almidón, disminución del pH y pobre actividad celulolítica. En este trabajo, donde las características del grano fueron de menor fermentabilidad que en el trabajo de Horton y Holmes (1975), difícilmente se produjeron descensos del pH como para afectar la digestibilidad de la fibra, independientemente de la edad de los animales. Grigera (2002), con novillos Holando Argentino de 300 kg, no encontró diferencias en la digestibilidad de la FDN, ni disminuciones en el pH ruminal, al adicionar un 40% de grano de maíz entero o partido en una dieta en base a avena.

Luginbuhl et al. (1989) demostraron que una mayor tasa de ingestión (gr MS/min) de heno de gramíneas en animales restringidos, generó un mayor tamaño medio de partículas en el rumen, por lo que es posible esperar una disminución de la digestibilidad de la FDN. Un efecto similar podría esperarse con el incremento en la edad de los animales. Sin embargo, Bae et al. (1983), no encontraron diferencias en el tamaño de partículas en heces de animales de diferente tamaño corporal, alimentados con heno ad libitum. La reducción del tamaño de partícula del forraje y el aumento de la superficie expuesta, generada por la masticación, juega un rol muy importante en digestión de los forrajes. Sin embargo, Pond et al. (1984) remarcaron la importancia adicional que cobra la ruptura de la cutícula y tejidos vasculares por el

aplastamiento y debilitamiento de los tejidos, aun sin reducción del tamaño de partícula. Esto indicaría que una mayor masticación puede mejorar la digestión de la fibra aun sin disminuir el tamaño de partícula. Los resultados de este ensayo no permiten determinar la causa de una tendencia en la disminución la digestibilidad de la FDN con la edad, ya que no se determinó el tamaño de partícula del forraje en heces. Sin embargo, es posible esperar que una menor tasa de masticación (min/kg MS) genere un menor daño físico de la fibra y por lo tanto una menor digestibilidad.

En nuestro trabajo, la dieta con alto nivel de forraje tuvo una mayor digestibilidad de la FDN ($P < 0,05$; AF: 62,8%; BF: 55,7%). Resultados similares fueron observados por Nordin y Campling (1976). Cole et al. (1976) no encontraron diferencias en la digestibilidad de la FDN, aunque trabajaron con un rango muy estrecho de niveles de fibra (0 a 21%). Con la inclusión de altos niveles de grano en la dieta, la digestibilidad de la fibra puede verse deprimida debido a una preferencia de los microorganismos por los hidratos de carbono fácilmente fermentecibles, caída del pH ruminal y consecuente disminución de la flora celulolítica y competencia por los nutrientes esenciales. Esto resulta en una mayor proliferación de bacterias amilolíticas en desmedro de las celulolíticas (Santini y Elizalde, 1993).

Aunque la digestibilidad de la FDN halla disminuido en el tratamiento BF, en términos absolutos, la digestibilidad de la MS se vio débilmente afectada (1,5%), ya que la participación de la FDN en la dieta es muy baja (13,6%). Si bien la digestibilidad de la FDN del henolaje de alfalfa se vería mas afectada que la del grano del maíz en este tipo de dietas (Poore et al., 1990), la contribución del grano a la FDN total de la dieta es mayor a la del henolaje de alfalfa (55% vs. 26%) por lo que la depresión en la digestión de la FDN del forraje en dietas con alto nivel de concentrados (90%) no sería importante.

| TABLA 10. DIGESTIBILIDAD <i>IN VIVO</i> DE LA FDN DE RACIONES CON DOS NIVELES DE FORRAJE EN BOVINOS DE DIFERENTES EDADES. | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|----------|
| | Edades (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | | | |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | Edad | NF | Edad *NF |
| Cons. FDN (kg) | 1,63 | 0,82 | 2,06 | 0,99 | 2,44 | 1,17 | 3,00 | 1,43 | ** | ** | NS |
| FDN fecal (kg) | 0,53 | 0,32 | 0,74 | 0,42 | 0,99 | 0,54 | 1,20 | 0,70 | ** | ** | NS |
| Dig. total (%) | 67,4 | 61,1 | 64,2 | 57,3 | 59,2 | 53,8 | 60,3 | 50,6 | NS | * | NS |
| AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje NS: no significativo. * P<0,05. ** P<0,01 | | | | | | | | | | | |

6.4. Digestibilidad del almidón y pH fecal

La digestibilidad del almidón fue diferente entre edades ($P<0,01$; Tabla 8). A medida que aumentó la edad, disminuyó la digestibilidad (89.4%, 87.8%, 84.0% y 75.1% para 13, 15.5, 18 y 20.5 meses de edad, respectivamente). La tasa de disminución fue de 2 unidades porcentuales por cada mes de edad (R^2 AF: 0,49; BF: 0,40).

| TABLA 8. DIGESTIBILIDAD <i>IN VIVO</i> DEL ALMIDON DE RACIONES CON DOS NIVELES DE FORRAJE EN BOVINOS DE DIFERENTES EDADES. | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|----------|
| | Edad (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | | | |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | Edad | NF | Edad *NF |
| Cons. de almidón (kg) | 1,23 | 3,37 | 1,56 | 3,71 | 1,85 | 4,39 | 2,27 | 5,55 | ** | ** | NS |
| Almidón fecal (kg) | 0,16 | 0,31 | 0,19 | 0,44 | 0,33 | 0,62 | 0,66 | 1,16 | ** | ** | NS |
| Dig. Total (%) | 87,8 | 90,9 | 87,6 | 88,1 | 82,0 | 86,0 | 71,0 | 79,0 | ** | ** | NS |
| AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje NS: no significativo. * P<0,05. ** P<0,01 | | | | | | | | | | | |

Resultados similares fueron publicados por Pordomingo et al. (2002) quienes incluyeron un 10% de heno de alfalfa en dietas basadas en grano entero observaron una mayor digestibilidad del almidón en terneros de 165 kg que en novillos de 269 kg. En adición, Nordin y Campling (1976), hallaron una mayor digestibilidad del grano de maíz

entero en novillos de 287 kg que en vacas de 613 kg, utilizando un 14% de heno de alfalfa. Sin embargo, en el mismo experimento, con niveles altos de heno (37 y 48%), la digestibilidad del maíz fue numéricamente mayor en los animales jóvenes, aunque estas diferencias no fueron significativas. Morgan y Campling (1978), en dietas con 40% de heno y 40% de grano de avena y cebada, observaron una disminución en la digestibilidad del almidón en vaquillonas de 7 a 16 meses de edad, aunque las diferencias no fueron significativas. El tamaño de los granos es un factor que puede afectar la digestibilidad del almidón. Beauchemin et al. (1994) observaron que los granos de menor tamaño como la cebada y el trigo, escapan en mayor proporción a la masticación (75% y 82%) que los granos de maíz (50%). Esto, sumado a la alta variación entre animales en la habilidad para utilizar los granos (Morgan y Campling, 1978; Beauchemin et al., 1994), puede enmascarar los efectos de la edad o tamaño corporal sobre la digestibilidad del almidón.

El nivel de forraje en la dieta afectó la digestibilidad del almidón ($P < 0,01$), con una diferencia de 4 unidades porcentuales a favor del tratamiento con BF (AF: 82,1%; BF: 86,0%). Valores similares (88,8%) fueron informados por Theurer (1986), para dietas basadas en grano de maíz entero. Los valores de digestibilidad del almidón en la dieta con alto forraje son similares a los hallados en la bibliografía (82,1%), donde se utilizó grano de maíz entero con niveles de forraje entre el 30 y 68% (Nordin y Campling, 1976; Gingins et al., 1983; Maresca et al., 2000; Grigera, 2001).

El efecto del nivel de fibra en la dieta sobre la digestibilidad del almidón fue estudiado por Cole y otros (1976), quienes hallaron una mayor digestibilidad del almidón en dietas basadas en grano entero sin fibra que con la adición de 7 a 21% de cascara de semilla de algodón. Nordin y Campling (1976), también demostraron que el aumento de heno de alfalfa del 10 al 50% en dietas con grano entero produjo una disminución en la digestibilidad del almidón de 91 a 81%. Vance et al.

(1972), no observaron diferencias utilizando animales de 257 kg de PV al incluir silaje de maíz en dietas con grano entero, aunque la alta digestibilidad del almidón contenido en los granos del silo podrían haber confundido los resultados. A partir de la revisión bibliográfica realizada en el presente trabajo (16 publicaciones y 31 tratamientos) sobre la utilización de grano de maíz entero con niveles de forraje que variaron entre 0 y 68%, se observó una correlación negativa ($P < 0,01$) entre nivel de forraje y digestibilidad del almidón ($R^2: 0,44$; Gráfico 1).

La fibra afectaría la digestibilidad del almidón modificando el tiempo de permanencia del grano en el trato digestivo. Nordin y Campling (1976) demostraron en novillos de 258 kg, que el tiempo de retención en el tracto digestivo de granos de maíz teñidos aumentaba de 70 a 84 hs cuando el nivel de heno de alfalfa en la dieta disminuía de 50% a 10%. Esto aumentaría el tiempo de exposición de los granos a las enzimas digestivas y las posibilidades de estos de ser regurgitados y remasticados. Sin embargo, existen suficientes evidencias (Sudweeks et al., 1975) que indican que la adición de forraje en dietas basadas en grano, incrementa el tiempo de masticación ingestiva y rumia, por lo cual, podría ocurrir un mayor procesamiento de los granos.

Se observaron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre edades en la concentración de almidón en heces (Tabla 9). La concentración de almidón aumentó con la edad, aunque el coeficiente de regresión fue muy bajo ($P < 0,05$; $R^2: 0,1$). El pH fecal no fue modificado por la edad ($P > 0,10$), 6,14, 6,13, 6,17, y 6,20 para 13, 15,5, 18 y 20,5 meses de edad respectivamente. El tratamiento con bajo nivel de forraje tuvo valores de pH inferiores al tratamiento con alta fibra ($P < 0,01$; AF: 6,41 vs. BF: 5,90). Valores mayores fueron informados por Galyean et al. (1979b) y Lee et al. (1982) en dietas con 72 y 68% de grano de maíz entero.

No se observó correlación entre porcentaje de almidón en heces y pH en heces para ambos tratamientos (AF: $P > 0,10$ $R^2: 0,07$; BF: $P > 0,10$ $R^2: 0,06$). Resultados contradictorios se observan en la bibliografía con

respecto a la relación entre pH en heces y almidón en heces. Wheeler y Noller (1977) encontraron una alta correlación negativa entre estas variables (R^2 : 0,88), Galyean et al. (1979a) Russell et al. (1981), Lee et al. (1982), Turgeon et al. (1983) solo encontraron moderadas correlaciones negativas y Galyean et al. (1979b), variando el tamaño de partícula del grano, reportaron una débil correlación positiva.

Disminuciones en el pH con aumentos del almidón fecal pueden generarse por un incremento de la actividad microbiana y producción de lactato en el intestino grueso (Galyean et al., 1979a). La forma en que se encuentra el almidón en las heces podría estar afectando los resultados, ya que la disponibilidad de sustrato para la fermentación en intestino grueso podría variar si el grano se encuentra entero o poco procesado. Resultados de Teeter et al. (1980) indican que entre el 67 y 75% del almidón de las heces de novillos alimentados con grano de maíz entero se encuentra contenido en las fracciones de granos enteros, donde las posibilidades de ataque de las enzimas bacterianas son más reducidas. Lee et al. (1982), observaron que el pH en heces tendía a aumentar cuando se sustituía “steam flaked” por grano de maíz entero. Posiblemente la correlación negativa entre porcentaje de almidón fecal y pH fecal se produzca en dietas con granos mas procesados, donde la digestibilidad del almidón aumenta en todo el tracto digestivo pudiendo generar descensos del pH en intestino grueso.

| TABLA 9. RELACION ENTRE PORCENTAJE DE ALMIDON Y pH EN HECES. | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|----------|
| | Edad (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | | | |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | Edad | NF | Edad *NF |
| Almidón fecal % MS | 12,5 | 23,7 | 10,2 | 27,8 | 12,4 | 28,4 | 17,5 | 39,4 | ** | ** | NS |
| PH fecal | 6,45 | 5,84 | 6,43 | 5,82 | 6,42 | 5,92 | 6,36 | 6,04 | NS | ** | NS |

AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje
NS: no significativo. * P<0,05. ** P<0,01

6.5. Tamaño de partícula del grano en heces

La proporción de partículas de granos retenidas fue mayor en el tamiz de 6 mm (63,8%), en donde se observaron, en su mayoría, granos enteros, independientemente de los tratamientos. En el tamiz de 5 mm se retuvo el 14,3% de las partículas, conformadas por granos enteros pequeños y granos grandes partidos en mitades. El tamiz de 3,25 mm no retuvo granos enteros, solo se observaron granos partidos en cuartos (16,8%) y en el tamiz de 2,25 mm se hallaron granos partidos en cuartos y partículas de menor tamaño (Figura 3).

El tamaño promedio de las partículas retenidas en los tamices fue de 5,21 mm, observándose un incremento lineal ($P<0,05$) del tamaño con la edad (5,01, 5,20, 5,15 y 5,49 mm para 13, 15,5, 18 y 20,5 meses respectivamente; Tabla 11). La proporción de partículas retenidas en los tamices de 6 y 2,25 mm fue diferente entre edades ($P<0,05$). A medida que los animales crecieron se incrementó la proporción de partículas retenidas en el tamiz de 6 mm, disminuyendo la proporción de partículas en el tamiz de 2,25 mm. La proporción de granos retenida en los tamices de 5 y 3,25 mm no fue diferente entre edades, sin embargo, se observó una tendencia ($P=0,06$ y $P=0,09$) a reducirse a medida que los animales crecían. Resultados contrarios fueron observados por Reinhardt et al. (1998) indicando que la reducción en el tamaño de

partículas de grano de maíz recuperadas del rumen luego de la ingestión, fue mayor en novillos de 361 kg de PV que en terneros de 206 kg. Bae et al. (1983) con suministro de heno ad libitum observaron que los animales más grandes mastican menos por unidad de consumo, pero no encontraron diferencias en el tamaño de partículas en heces. Por otro lado, Luginbuhl et al. (1989) demostraron que cuando el consumo de una dieta en base a forraje es restringido, los animales comen y tragan más rápidamente, resultando en un aumento del tamaño medio de las partículas recuperadas en el rumen.

El nivel de forraje en la dieta no afectó la proporción de partículas de grano retenidas en cada tamiz (Tabla 11), con excepción del tamiz de 2.25 mm donde se observó una mayor retención en el tratamiento con baja fibra ($P < 0,01$; AF: 4% vs BF: 5,6%). El tamaño medio de partículas tendió a ser mayor en la dieta con alto nivel de forraje (5,25 mm. vs 5,16 mm; $P = 0,12$). La interacción entre edad y nivel de forraje fue significativa para tamaño medio de partícula y tamices de 6 y 2,25 mm. Esto se debió a la amplia diferencia observada entre tratamientos cuando los animales tenían 13 meses de edad.

| | Edad (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
|------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|----------|
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | Edad | NF | Edad *NF |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | | | |
| Tam. Medio de part. mm | 5,23 | 4,80 | 5,22 | 5,18 | 5,12 | 5,16 | 5,45 | 5,52 | * | NS | ** |
| 6,00 mm. | 64,8 | 50,0 | 62,6 | 62,5 | 58,8 | 61,2 | 73,1 | 77,7 | * | NS | ** |
| 5,00 mm. | 13,5 | 15,7 | 16,5 | 15,3 | 17,1 | 16,1 | 11,6 | 8,7 | NS | NS | NS |
| 3,25 mm. | 16,9 | 24,0 | 16,1 | 17,5 | 19,2 | 17,1 | 12,8 | 11,1 | NS | NS | NS |
| 2,25 mm. | 4,5 | 10,1 | 4,7 | 4,8 | 4,7 | 5,2 | 2,0 | 2,1 | * | ** | ** |

AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje
NS: no significativo. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$

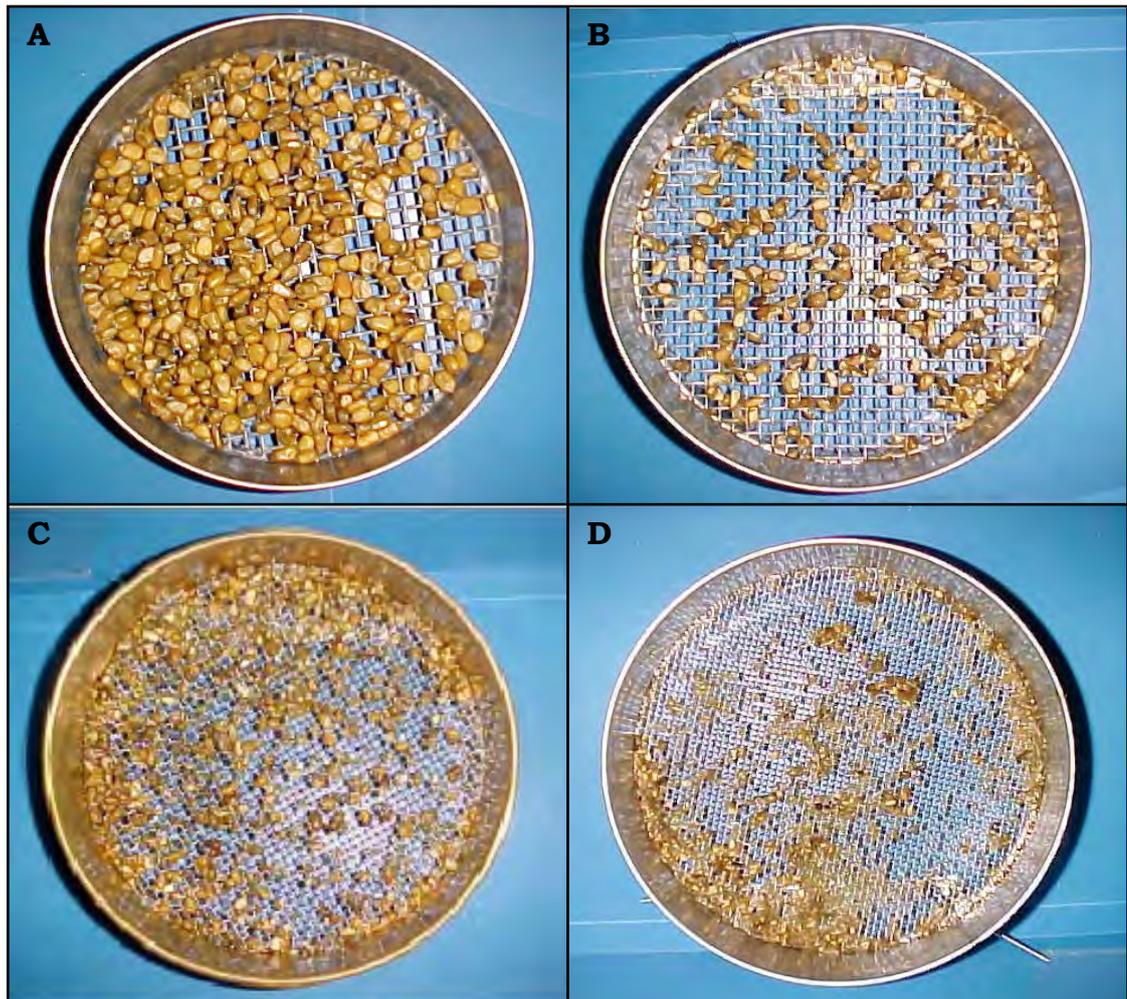


Figura 3. Partículas de grano retenidas en cada tamiz. 6mm (A), 5mm (B), 3,25mm (C), 2,25mm (D).

6.6. Granos enteros en heces

El porcentaje de granos excretados enteros en heces fue 20,2% en promedio, variando entre 17 y 32% para la dieta con AF y entre 8 y 20% para la dieta con BF. Valores inferiores fueron observados por Nordin y Campling, (1976) y Pordomingo et al. (2002) al trabajar con niveles de forraje (14 y 10% de heno de alfalfa), y animales de 269 y 287kg de peso vivo, respectivamente. Estas diferencias pueden estar asociadas al nivel de consumo, ya que en los dos casos mencionados la alimentación fue ad libitum mientras que en este trabajo fue restringida al 90% del consumo voluntario. Según Reinhardt et al. (1998) restricciones del

15% en el consumo de una dieta compuesta por un 77% de grano de maíz entero, generan un aumento del 19% en la cantidad de granos enteros recuperados en el rumen. Resultados de ensayos con dietas basadas en forraje también demostraron que la restricción genera mayor velocidad de ingestión y mayor tamaño de las partículas ingeridas (Luginbuhl et al., 1989).

El porcentaje de granos enteros recuperados en heces fue afectado por la edad ($P < 0,01$; Tabla 12). A medida que los animales crecieron aumentó el porcentaje de granos enteros en heces (12,3, 19,6, 24,0 y 26,3% para 13, 15.5, 18 y 20.5 meses de edad respectivamente), aunque los coeficientes de correlación para estas variables fueron bajos (AF. R^2 : 0,21, $P < 0,05$; BF. R^2 : 0,30 $P < 0,01$). Resultados similares obtuvieron Pordomingo et al. (2002) trabajando con un 10% de heno de alfalfa, quienes observaron que novillos de 269 kg excretaron mayor porcentaje de granos de maíz enteros que novillitos de 155 kg (9% vs. 7,4%). En adición, Nordin y Campling (1976) trabajando con un 14% de heno de alfalfa en la dieta, observaron que vacas de 613kg de peso vivo excretaban más del doble de granos enteros que novillos de 287kg (18% vs 7%). Sin embargo, cuando los niveles de heno aumentaron a 37% y 48%, las diferencias entre adultos y jóvenes desaparecieron. Horton y Holmes (1975) tampoco encontraron diferencias entre animales de 176 y 390 kg, trabajando con grano de maíz húmedo entero tratado con ácido propiónico y niveles altos de forraje (45%). En el presente ensayo el efecto de la edad sobre el porcentaje de granos enteros recuperados de las heces fue independiente del nivel de forraje en la dieta ($P > 0,05$).

Si bien, el tiempo de masticación por unidad de consumo fue mayor en el tratamiento con alto nivel de forraje, el porcentaje de granos enteros recuperados en heces fue mayor ($P < 0,01$) en este tratamiento que en el de bajo forraje (AF: 25,7% vs BF: 15,5%). Dos factores pueden estar generando estos resultados. Por un lado, el mayor peso específico de los granos enteros puede determinar que estos se

ubiquen en los estratos inferiores del rumen y así disminuir la probabilidad de que sean regurgitados y remasticados durante la rumia. El fenómeno de estratificación del grano entero pudo observarse cuando las muestras de materia fecal fueron diluidas para obtener los granos. Elizalde (comunicación personal), observó en vaquillonas alimentadas con un 87% de grano de maíz que los granos enteros se estratificaban en la porción ventral del rumen. Por otro lado, se observó que durante el ensayo los animales en el tratamiento AF seleccionaron el grano y lo ingirieron con mayor avidez, pudiendo esto afectar el tiempo de masticación ingestiva y por lo tanto el daño físico a los granos. La poca homogeneidad de la mezcla en la dieta con AF pudo contribuir a este efecto.

Como los granos recuperados en heces pesaron menos que los granos originales en el alimento, se ajustó el porcentaje de granos recuperados en las heces por su pérdida de peso. Esto permite obtener un valor más exacto de la magnitud de las pérdidas ocasionadas por granos enteros en heces. El porcentaje de granos ajustados mantuvo la correlación positiva con edad de los animales ($P < 0,01$; Tabla 12) y permitió mejorar el ajuste de la recta (AF. $R^2: 0,37$, $P < 0,01$; BF. $R^2: 0,41$ $P < 0,01$). Las diferencias entre niveles de forraje se mantuvieron ($P < 0,01$). El análisis de regresión lineal múltiple, por el método stepwise, indicó que el porcentaje de granos en heces ajustado por peso es la variable que explica la mayor proporción de la variación en la digestibilidad total del almidón (59 % en la dieta AF y el 69% en la dieta BF; $P < 0,01$). El aporte de otras variables como porcentaje de granos enteros en heces, edad, peso metabólico y alzada no fue significativo para el modelo ($P > 0,15$).

| TABLA 12. EFECTO DE LA EDAD Y EL NIVEL DE FORRAJE SOBRE EL % DE GRANOS ENTEROS RECUPERADOS EN HECES. | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|-----|------|------|------|------|------|------|--------|----|---------|
| | Edad (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | Edad | NF | Edad*NF |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | | | |
| Granos enteros | 17,1 | 7,7 | 23,2 | 16,0 | 30,3 | 17,8 | 32,2 | 20,4 | ** | ** | NS |
| Granos enteros ajustados ⁽¹⁾ | 12,6 | 5,5 | 16,7 | 11,4 | 20,7 | 12,5 | 25,0 | 16,1 | ** | ** | NS |
| AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje NS: no significativo. * P<0,05. ** P<0,01. ⁽¹⁾ Ajustados por su pérdida de peso. | | | | | | | | | | | |

6.7. Efecto del tamaño de los granos

Como se señaló anteriormente solo se retuvieron granos enteros en los tamices de 6 y 5 mm. Esto permitió clasificar a los granos de acuerdo a su tamaño, en granos grandes, retenidos en el tamiz de 6 mm y granos chicos, retenidos en el tamiz de 5 mm (Figura 4). De esta forma se analizó el efecto de esta variable sobre el porcentaje de granos recuperados en heces.

Luego del tamizado del grano utilizado en la alimentación de los animales, se observó que el porcentaje de granos enteros recuperados en el tamiz de 5mm representó el 11.6% del total de granos enteros retenidos en todos los tamices. Esta proporción fue del 15,1% en los granos tamizados en heces, indicando que los granos pequeños aumentaron en proporción con respecto a los granos en el alimento. El análisis del porcentaje de granos enteros recuperados en heces de acuerdo a su tamaño, indicó que un 33% de los granos pequeños (recuperados en el tamiz de 5 mm) escapa a la masticación, mientras que ese valor disminuye al 19% para los granos de mayor tamaño (recuperados en el tamiz de 6 mm).

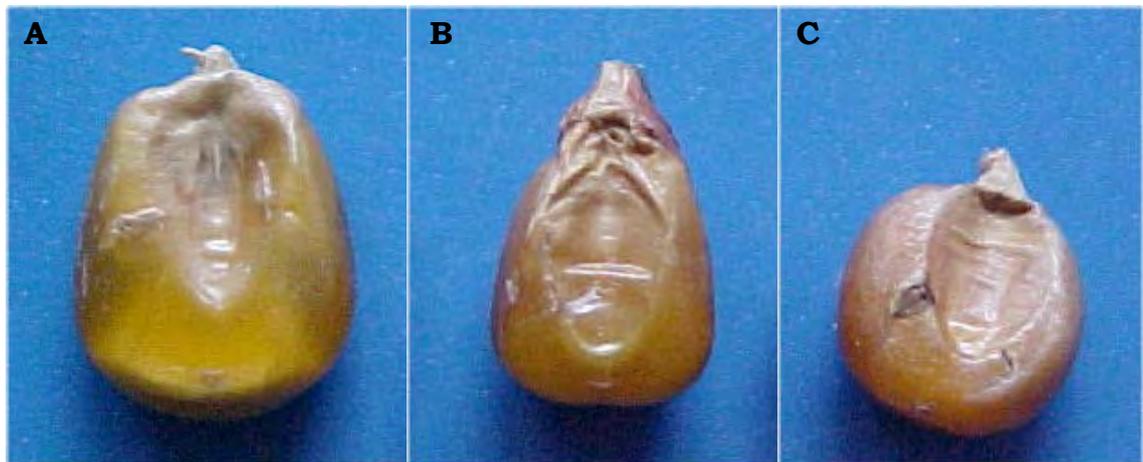


Figura 4. Tamaño de los granos. (A) Granos grandes, retenidos en el tamiz de 6 mm. (B y C) Granos chicos, retenidos en el tamiz de 5mm.

No se conocen antecedentes en la bibliografía que estudien el efecto de la masticación sobre el tamaño de los granos de maíz. Sin embargo, los resultados de este trabajo pueden relacionarse a los hallados por Beauchemin et al. (1994) quienes mencionan que el tamaño de los granos puede ser un factor que determine la cantidad de tiempo que los animales gastan en ingerir y rumiar los granos enteros. Estos autores, demostraron que un 82% y 75% de los granos de trigo y cebada suministrados a vacas de 557 kg de PV, fueron recuperados enteros de las heces, mientras que para maíz solo el 50%. Comparado con cebada trigo y avena, el grano de maíz es de mayor tamaño y requiere mas masticación durante el consumo para formar un bolo fácilmente deglutible.

El porcentaje de granos enteros chicos recuperados de las heces aumentó con la edad (13, 17, 32, 72% para 13, 15,5, 18 y 20 meses de edad, respectivamente; $P < 0,01$; Tabla 13). Lo mismo sucedió con los granos grandes (12, 17, 23, y 27% para 13, 15,5, 18 y 20 meses de edad, respectivamente; $P < 0,05$). El análisis de regresión múltiple por el método stepwise indicó que el peso metabólico es la variable que explica el mayor porcentaje de la variación en la proporción de granos chicos

(AF R^2 : 0,46; BF R^2 : 0,55) y granos grandes en heces, aunque los índices de correlación fueron mucho menores en estos últimos (AF R^2 : 0,17; BF R^2 : 0,39). La pendiente de la recta fue notablemente más pronunciada en los granos chicos ($y = 1,53 x$) que en los grandes ($y = 0,43 x$). Estos resultados indicarían que el aumento en la proporción de granos enteros en heces de animales adultos se genera principalmente a partir de un mayor escape de granos pequeños.

El híbrido de maíz utilizado en ensayos donde se compara la eficiencia de masticación de animales de diferentes edades puede estar afectando los resultados. San Martín (2003) clasificó 8 híbridos de maíz de acuerdo a su color, y observó diferencias significativas en el largo de los granos amarillos y colorados (13 mm vs 10,7mm). Por lo tanto, los granos amarillos podrían ser más susceptibles al quebrado durante la masticación, al exponer una mayor superficie de contacto. A su vez, los granos colorados poseen una mayor proporción de endosperma corneo que determina una mayor resistencia física a la masticación (Philippeau et al., 1999).

El nivel de forraje afectó el porcentaje de granos grandes recuperados en heces ($P < 0,01$; Tabla 13). La dieta AF permitió un mayor pasaje de granos grandes respecto de BF (25,7% vs 13,5%). Sin embargo, no se observaron diferencias entre niveles de forraje ($P > 0,10$) en el porcentaje de granos chicos, aunque en la dieta AF el porcentaje de estos granos recuperados en heces fue numéricamente mayor que en la dieta BF (35,7% vs 31,3%).

| TABLA 13. EFECTO DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS SOBRE EL PORCENTAJE DE GRANOS ENTEROS RECUPERADOS EN HECES. | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|---------|
| | Edad (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | Edad | NF | Edad*NF |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | | | |
| Granos chicos excretados enteros (%) | 14,8 | 11,7 | 17,7 | 16,9 | 37,2 | 26,9 | 73,4 | 69,7 | ** | NS | NS |
| Granos grandes excretados enteros (%) | 17,6 | 7,1 | 24,2 | 9,3 | 29,1 | 16,7 | 31,9 | 21,1 | * | ** | NS |

AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje NS: no significativo. * P<0,05. ** P<0,01.

6.8. Granos enteros dañados en heces

Una vez obtenidos los granos enteros en las heces, se los clasificó macroscópicamente de acuerdo a las características de su pericarpio, en granos sanos y granos dañados (Figura 5).



Figura 5. Granos dañados.

El porcentaje de granos enteros con su pericarpio dañado fue en promedio del 19,3%. Esta variable fue afectada por la edad de los animales ($P<0,01$, Tabla 14). Se observó una disminución en el porcentaje de granos dañados en la medida que aumentó la edad de los animales (25%, 18%, 13% y 13% para 13, 15,5, 18 y 20,5 meses

respectivamente, $P < 0,01$). Estos resultados junto a los resultados hallados en porcentaje de granos enteros recuperados en heces se relacionan indirectamente con el tiempo de masticación ingestiva y rumia por unidad de consumo.

El nivel de forraje afectó el porcentaje de granos dañados ($P < 0,01$; Tabla 14). Contrariamente a lo esperado, el porcentaje de granos enteros dañados fue mayor en la dieta con alto forraje (21,5% vs 13,0%). Lo mismo ocurrió al separar los granos de acuerdo a su tamaño (grandes: 21.3% vs. 13.5 y chicos: 20,5% vs. 10,4%). Estos resultados podrían ser una consecuencia de la mayor avidez con que las vaquillonas ingerían el grano de maíz en la dieta con alto forraje. Si bien, se observó un mayor porcentaje de granos enteros en heces, el mayor porcentaje de granos dañados pudo generarse por una masticación incompleta de los granos.

Los granos de mayor tamaño sufrieron más daños de su pericarpio que los granos chicos (17,4% vs, 15,4%, $P < 0,01$). Esto permite confirmar que los granos de menor tamaño escapan con mayor facilidad a la masticación.

| | Edades (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
|----------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|---------|
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | | | |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | Edad | NF | Edad*NF |
| Granos total | 30,6 | 19,3 | 23,3 | 12,2 | 16,6 | 9,8 | 15,3 | 10,5 | * | ** | NS |
| Granos grandes | 31,0 | 20,7 | 24,5 | 13,2 | 15,0 | 9,5 | 14,9 | 10,6 | * | ** | NS |
| Granos chicos | 29,9 | 15,0 | 15,1 | 7,4 | 19,1 | 10,0 | 17,9 | 9,2 | * | ** | NS |

AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje
NS: no significativo. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$

6.9. Pérdida de peso del grano entero

El peso de 100 granos enteros recuperados en heces fue menor al de 100 granos originales en el alimento (22,7g vs 31,8g), representando una pérdida de peso del 28,6%. Valores inferiores (20%) fueron publicados por Gingins et al. (1983), trabajando con un 60% de heno de alfalfa. Existen pocos antecedentes en la bibliografía que evalúen la pérdida de peso de los granos en su paso a través del tracto digestivo total. Estudios de digestión ruminal de granos de maíz enteros fueron publicados por Wilson et al. (1973), Beauchemin et al. (1994) quienes observaron un 30% y 16% de pérdida de peso en granos enteros suspendidos en bolsitas en el rumen durante 96 hs. San Martín (2003), observó una degradación ruminal del 3,7% en granos de maíz enteros incubados durante 28 hs. Las diferencias observadas en la bibliografía pueden estar asociadas al tipo de grano utilizado. Philippeau et al. (1999) en dietas con alta proporción de granos de maíz, observaron una mayor digestibilidad ruminal del almidón en maíces partidos dentados que en flint (60,8 vs 34,8).

La edad afectó la reducción de peso de los granos ($P < 0,05$; Tabla 15). Se observó una pérdida de peso similar entre las vaquillonas de 13 a 18 meses de edad, mientras que fue marcadamente menor cuando las vaquillonas tenían 20,5 meses. No se hallaron diferencias significativas entre tratamientos, aunque existió una tendencia ($P = 0,18$) a ser mayor en la dieta con baja fibra (AF: 28,5% vs BF: 29,1%). Este efecto podría estar relacionado con la menor tasa de pasaje que se observa en las dietas con baja fibra, generando un mayor tiempo de permanencia del grano en el tracto digestivo y permitiendo una mayor tiempo de acción de las enzimas digestivas (Nordin y Campling, 1976).

Se observaron diferencias significativas entre el peso de 100 granos enteros sanos y dañados en heces (23,6g. vs 19,2g.). La pérdida de peso fue mayor en los granos dañados (40,2%) que en los granos sanos (26,3%). El nivel de forraje afectó también la pérdida de peso de

los granos dañados ($P < 0,01$) y sanos ($P < 0,05$). La reducción de peso de los granos sanos fue mayor en la dieta BF (27%) que en la dieta AF (25,5%). Lo mismo ocurrió con los granos dañados (42,7% vs 37,7%). Esto indicaría que no solo es importante el daño que sufre el pericarpio durante la masticación, sino también el tiempo de permanencia de estos en el tracto digestivo.

El tamaño de los granos afectó la pérdida de peso. El peso medio de 100 granos grandes fue de 23,8 g sufriendo una pérdida de peso del 29,4%, mientras que el peso promedio de 100 granos chicos fue de 16,2 g y la reducción de peso fue del 18,8% con respecto a los granos originales. Diferencias entre niveles de forraje no fueron significativas ($P > 0,05$).

| | Edades (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
|--|----------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|---------|
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | Edad | NF | Edad*NF |
| | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | | | |
| Peso 100 granos en heces (g) | 22,9 | 21,8 | 22,6 | 22,3 | 21,7 | 21,9 | 24,6 | 24,5 | * | NS | NS |
| Reducc. de peso (%) | 28,9 | 32,3 | 29,8 | 30,7 | 32,5 | 32,1 | 21,2 | 21,5 | * | NS | NS |
| AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje NS: no significativo. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$ | | | | | | | | | | | |

6.10. Composición química de los granos enteros

La composición química de los granos enteros recuperados en heces fue afectada por su paso a través del tracto gastrointestinal ($P < 0,01$). La concentración de almidón fue 4,7 unidades porcentuales mayor ($P < 0,01$) en los granos en heces (74,8% v. 70,1%). Sin embargo, la cantidad total de almidón hallada en estos granos disminuyó ($P < 0,01$) de 22,5g a 17,1g/100 granos, indicando una digestibilidad promedio del 24%. No se dispone de trabajos en la bibliografía que evalúen la

digestibilidad del almidón de granos de maíz que hayan atravesado enteros el tracto digestivo total. Algunos trabajos han evaluado la digestibilidad de los granos enteros en el rumen mediante la incubación en bolsitas. Beauchemin et al. (1994), observaron un 35% de digestibilidad del almidón en granos de maíz enteros incubados durante 96 hs. Pordomingo et al. (2001), trabajando en dietas con bajo nivel de fibra no encontraron diferencias entre el porcentaje de almidón de los granos del alimento y los recuperados en heces.

Se hallaron diferencias en la digestibilidad del almidón entre edades ($P < 0,05$; Tabla 16). Sin embargo no se observó correlación entre esta variable y edad o peso. El nivel de forraje tampoco afectó el porcentaje de almidón en los granos enteros ($P > 0,10$) ni la digestibilidad del almidón ($P > 0,10$), aunque los valores fueron levemente mayores en la dieta con bajo forraje (AF: 75,3% vs BF: 74,2% y AF: 23,8% vs BF: 24,1%).

No se observaron diferencias ($P = 0,17$) en el porcentaje de almidón entre granos sanos (75%) y dañados (74%). Sin embargo, la digestibilidad del almidón fue significativamente mayor ($P < 0,01$) en los granos dañados (33,8%) que en los granos sanos (16,7%).

| TABLA 16. DIGESTIBILIDAD DEL ALMIDON DE 100 GRANOS DE MAIZ ENTEROS. | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|---------|
| | Edades (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | Edad | NF | Edad*NF |
| Tratamientos | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | | | |
| Alm en 100 granos originales (g) | 22,6 | 22,6 | 22,6 | 22,6 | 23,0 | 23,0 | 21,6 | 21,6 | | | |
| Alm en 100 granos heces (g) | 16,1 | 16,2 | 17,5 | 16,9 | 15,8 | 16,1 | 19,0 | 18,9 | NS | NS | NS |
| Digestion (%) | 28,8 | 28,5 | 22,8 | 25,3 | 31,2 | 30,2 | 12,2 | 12,5 | * | NS | NS |

AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje
NS: no significativo. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$

El porcentaje de proteína bruta en los granos enteros fue afectado ($P < 0,01$) por su paso a través del tracto digestivo, disminuyendo de

6,6% en los granos originales a 6,2% en los granos en heces. Coincidiendo con los resultados de este trabajo, Pordomingo et al. (2002), trabajando con niveles bajos de forraje (0-10%) observaron una caída en el porcentaje de proteínas de los granos enteros en heces de 8,7 a 7,3%.

La cantidad de proteína hallada en 100 granos enteros en heces fue de 1,4 g, mientras que en 100 granos originales fue de 2,1 g, esto indicó una digestibilidad de la proteína de 32,4%. Beauchemin et al. (1994), hallaron valores del 20% en la degradabilidad ruminal de la proteína de granos de maíz enteros incubados durante 96hs.

La digestibilidad de la proteína fue afectada por la edad de las vaquillonas ($P < 0,05$; Tabla 17). El nivel de forraje no afectó las variables porcentaje de proteína bruta (AF: 6,3% vs BF: 6,2%; $P > 0,10$), ni digestibilidad de la proteína bruta (AF: 32,3% vs BF: 32,5%; $P > 0,10$).

La concentración proteica fue mayor ($P < 0,01$) en los granos sanos (6,1%) que en los dañados (5,8%). La digestibilidad de la proteína bruta fue mayor ($P < 0,01$) en los granos dañados que en los sanos (46,1% vs 29,2%).

| | Edades (meses) | | | | | | | | Efecto | | |
|------------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----|----------|
| | 13 | | 15,5 | | 18 | | 20,5 | | | | |
| Tratamientos | AF | BF | AF | BF | AF | BF | AF | BF | Edad | NF | Edad *NF |
| Proteína en 100 granos orig (g) | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,3 | 2,3 | NS | NS | NS |
| Proteína en 100 grano en heces (g) | 1,4 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,2 | 1,3 | 1,7 | 1,7 | NS | NS | NS |
| Digestion (%) | 29,7 | 34,4 | 32,4 | 30,7 | 41,7 | 38,8 | 25,2 | 26,1 | * | NS | NS |

AF: Alto nivel de forraje (68%). BF: Bajo nivel de forraje (10%). NF: nivel de forraje
NS: no significativo. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$

7. CONCLUSIONES

La edad no afectó el tiempo total de masticación (min/día). Sin embargo, la masticación ingestiva y rumia por unidad de consumo disminuyó en la medida que las vaquillonas crecían. Las vaquillonas de 13 meses de edad masticaron 26 min más por kg de MS ingerida que las de 20,5 meses. El tratamiento con alto nivel de forraje aumentó el tiempo (min/día) y la tasa (min/kg MS) de masticación total.

La edad afectó la digestibilidad de la materia seca disminuyendo 11 unidades porcentuales en vaquillonas adultas con respecto a las jóvenes. A su vez, se observó una tendencia a disminuir la digestibilidad de la FDN.

La digestibilidad del almidón disminuyó 8 unidades porcentuales cada 100 kg de peso vivo. El bajo porcentaje de granos enteros recuperados de las heces de animales jóvenes (12%) reflejó su mayor eficiencia para utilizar el grano de maíz entero con respecto a los animales adultos (26%).

La mayor tasa de masticación en la dieta con alto forraje no estuvo relacionada con mayor digestibilidad del almidón. El aumento de la proporción de forraje en la dieta, disminuyó la digestibilidad del almidón en un 5%. Este efecto estuvo asociado a un aumento del 66% en el porcentaje de granos enteros excretados con respecto a la dieta con bajo forraje. Sin embargo, los resultados de este trabajo indican que es posible obtener altos valores de digestibilidad del almidón con dietas con alto forraje en los animales jóvenes (13 a 15,5 meses), incluso similares a los reportados por otros autores con granos procesados. Por lo tanto, el procesado del grano de maíz sería más indicado en animales adultos donde la participación del forraje en la dieta sea alta.

Existió cierto grado de aprovechamiento de los granos que se excretaron enteros en las heces, ya que sufrieron una pérdida de peso que alcanzó un 29% de la MS. Se observó un 24% de digestibilidad del almidón y 32% de la proteína.

La eficiencia en la masticación y la digestibilidad del almidón estuvo asociada al tamaño de los granos, ya que los de menor tamaño escaparon en mayor porcentaje a la masticación que los grandes (33% vs 19%). El mayor porcentaje de granos en heces de animales adultos se generó a partir de un aumento en el porcentaje de granos chicos. A su vez, los granos chicos enteros recuperados en las heces sufrieron una menor digestibilidad. Por lo tanto, sería posible mejorar la eficiencia de utilización del almidón con la elección de tipos de maíz de mayor tamaño de grano.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ARMSTRONG, D. G., BLAXTER, K. L. and GRAHAM, N. M. 1970. Fat synthesis from glucose by sheep. *Brit. J. Nutr.* 19:31A.
- BAE, D. H., WELCH, J. G. and GILMAN, B. E. 1983. Mastication and rumination in relation to body size of cattle. *J. Dairy Sci.* 66:2137-2141.
- BAE, D. H., WELCH, J. G. and SMITH, A. M. 1981. Efficiency of mastication in relation to hay intake by cattle. *J. Anim. Sci.* 52:1371-1375.
- BAILEY, R. W., 1958. Reaction of pentoses with anthrone. *Bioch. J.* 68:669-673.
- BLACK, J. L. 1971. A theoretical consideration of the effect of preventing rumen fermentation on the efficiency of utilization of dietary energy and protein in lambs. *Brit. J. Nutr.* 25:31.
- BEAUCHEMIN, K.A., Mc ALLISTER, T. A., FARR, B. A., and CHENG, K.J. 1994. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. *J. Anim. Sci.* 72:236-246.
- CLARK, P. W. and ARMENTANO, L. E. 1999. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in corn silage. *J. Dairy Sci.* 82:581-588.
- COLE, N.A., JOHNSON, R. R., and OWENS, F. N. 1976. Influence of roughage level on the site and extent of digestion of whole shelled corn by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:483-749.

- ENSOR, W. L., OLSON, H. H. and COLEMBRANDER, V. F. 1970. A report: Committee on classification of particle size in feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 53:689.
- FORDYCE, J. and KAY, M. 1974. A note on the effect of polyethylene particles on rumen metabolism of steers. *Anim. Produc.* 18:105-108.
- FULTON, W. R., KLOPFENSTEIN, T. J., and BRITTON, R. A. 1979a. Adaptation to high concentrate diet by beef cattle. I. Adaptation to corn and wheat diet. *J. Anim. Sci.* 49:775-784.
- FULTON, W. R., KLOPFENSTEIN, T. J. and BRITTON, R. A. 1979b. Adaptation to high concentrate diet by beef cattle. II. Effect of ruminal pH alteration on rumen fermentation and voluntary intake of wheat diets. *J. Anim. Sci.* 49:785.
- GALYEAN, M. L., WAGNER, D. G. and OWENS, F. N. 1979a. Level of feed intake and site and extent of digestion of high concentrate diets by steers. *J. Anim. Sci.* 49:109-203.
- GALYEAN, M. L., WAGNER, D. G. and OWENS, F. N. 1979b. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. *J. Anim. Sci.* 49:204-210.
- GARCIA, S. C., SANTINI, F. J. y ELIZALDE, J. C. 2000. Sites of digestión and bacterial protein synthesis in dairy heifers feed fresh oats with or without corn or barley grain. *J. Dairy Sci.* 83:746-755.
- GINGINS, M. A., STRITZLER, N. P. y SANTUCHO, G. 1983. Digestibilidad de granos de maíz y avena enteros y molidos. *Producción Animal* 10:109-114.

- GOERING H.K., and VAN SOEST, P. J. 1970. Forage fiber analysis (apparatus reagents, procedures and some applications). Agriculture handbook Vol. 379, USDA, Washington D.C.
- GRIGERA, J. M. 2001. Sitios de digestión de diferentes tipos de maíz ofrecidos enteros o molidos en vacunos alimentados con forraje fresco de avena. Tesis M. S. UNMdP. Fac. Cs. Agr., Balcarce, Argentina.
- HORTON, G. M. And HOLMES, W. 1975. Feeding value of whole shelled corn and rolled propionic acid treated high moisture corn for beef cattle. J. Anim. Sci. 40:706-716.
- HUNTINGTON, G. B. 1997. Starch utilization by ruminants: from basic to the bunk. J. Anim. Sci. 75:852-867.
- LAZZARI, G. L., GRIGERA NAON, J. J., Y GARCIA TOBAR, J. A 1986. Digestibilidad de la materia seca de raciones para novillos a base de grano de maíz entero y partido. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 6:7-12.
- LEE, R. W., GALYEAN, M, L., and LOFGREEND, G. P. 1982. Effects of mixing whole shelled and steam faked corn in finishing diets on feedlots performance and site and extent of digestion in beef steers. J. Anim. Sci. 55:475-483.
- LEGNER, 1979. Hand book of ethological methods. Garland STPM Press, New York NY.
- LITTLE, C. O., MITCHELL, G. E. and REITNOUR, C. M. 1968. Postruminal digestion of corn starch in steers. J. Anim. Sci. 27:790.

- LUGINBUHL, J. M., POND, K. R., BURNS J. C. and RUSS, J. C. 1989. Effects of ingestive mastication on particle dimensions and weight distribution of coastal bermudagrass hay feed to steers at four levels. *J. Anim. Sci.* 67:538-546.
- MARESCA, S., SANTINI, F. J y PAVAN, E. 2003. Comportamiento productivo de terneras alimentadas a corral con grano de maíz entero y partido. *Rev. Arg de Prod. Anim.* NA 672 (1).
- MC RAE, J. E., AND AMSTRONG, D. G. 1868. Enzyme method for determination of alpha-linked glucose polymers in biological materials. *J. Food Sci. Agr.* 19:578-581.
- MORGAN, C. A. AND CAMPLING, R. C. 1978. Digestibility of whole barley and oat grains by cattle of different ages. *Anim. Prod.* 27:323-329.
- MOE, P, W., TYRRELL, H. F. and HOOVEN, N. W. 1973. Physical form and value of corn grain. *J. Dairy Sci.* 56:1298-1304.
- MURPHY, T. A., FLUHARTY, F. L., and LOERCH, S. C. 1994. The influence of intake level and corn processing on digestibility and ruminal metabolism in steers fed all-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 72:1608-1615.
- NORDIN M. and CAMPLING R. C. 1976. Effect of level and form of roughage in the diet on digestibility of whole maize grain in cows and steers. *J. Agric. Sci.* 87:213-219.
- ORSKOV, E. R. 1979. Recent information on processing of grain for ruminants. *Livestock Prod. Sci.* 6:335-347.

- ORSKOV, E. R. 1986. Starch Digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1624-1633.
- ORSKOV, E. R., FRASER, C., MASON, V. C. and MANN, S. O. 1970. Influence of starch digestion in the large intestine of sheep on caecal fermentation, caecal microflora and nitrogen excretion. *Brit. J. Nutr.* 24:671.
- OVEJERO, F. 1987. Evaluación química y químico-biológica de los forrajes. Dirección de desarrollo de recursos humanos. COMCAL
- OWENS, F. N., SECRIST D. S. HILL, W. J. and GILL, D. R. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: A Review. *J. Anim. Sci.* 75:868-879.
- OWENS, F. N., ZINN, R. A. and KIM, Y. K. 1986. Limits to starch digestion in the ruminants small intestine. *J. Anim. Sci.* 63:1634-1648.
- PHILIPPEAU, C., MARTIN, C. and MICHALET-DOREAU, B. 1999. Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extend of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 77:1587-1596.
- PHILIPPEAU, C., and MICHALET-DOREAU, B. 1998. Influence of genotype and ensiling of corn grain on in situ degradation of starch in the rumen. *J. Dairy Sci.* 81:2178-2184.
- POND, K. R., ELLIS, W. C. and AKIN, D. E. 1984. Ingestive mastication and fragmentation of forages. *J. Anim. Sci.* 58:1567-1575.

- POORE, M. H., MOORE, J. A. and SWINGLE, R. S. 1990. Differential passage rates and digestion of neutral detergent fiber from grain and forages in 30, 60 and 90% concentrate diets fed to steers. *J. Anim. Sci.* 68:2965-2973.
- PORDOMINGO, A. J., JONAS, O., ADRA, M., JUAN, N. A. y AZCARATE, M. P. 2002. Evolución de dietas basadas en grano entero, sin fibra larga, para engorde de bovinos a corral, *RIA*, 31:1-22.
- RAMIREZ, R. G., KIESLING, H. E., GALGEAN, M. L., LOFGREEN, G. P., and ELLIOTT, J. K. 1985. Influence of steam-flaked, steamed-whole or whole shelled corn on performance and digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 61:1-8.
- REINHARDT, C. D., BRANDT, R. T., ECK, T. P. and TITGEMEYER, E. C. 1998. Performance, digestion, and mastication efficiency of Holstein steers fed whole or processed corn in limit or full-fed growing-finishing system. *J. Anim. Sci.* 76:1778-1788.
- RUSSELL, J. R., YOUNG, A. W. and JORGENSEN, N. A. 1981. Effect of dietary corn starch intake on ruminal small intestinal and large intestinal starch digestion in cattle. *J. Anim. Sci.* 52:1170-1176.
- SAN MARTÍN, M. 2003. Propiedades físicas y digestión ruminal de los granos de diferentes híbridos de maíz en bovinos. Tesis M. S. UNMdP. Fac. Cs. Agr., Balcarce, Argentina.
- SANTINI, F. J. y ELIZALDE, J. C. 1993. Utilización de granos en la alimentación de rumiantes. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 13:39-60.

- SANTINI, F: J., LU, C. D., POTCHOIBA, M. J., FERNANDEZ, J. M. and COLEMAN S. W. 1992. Dietary fiber and milk yield, mastication, digestion, and rate of passage in goats feed alfalfa hay. *J. Dairy Sci.* 75:209-219.
- SECRIST, D. S., OWENS, F. N., HILL, W. J. and WELTY, S. D. 1996. Rolled versus whole corn: effects on ruminal fermentation of feedlot steers. *Okla. Agric. Exp. Sta. Misc. Pub. P-951*, 181-188.
- SHIPLEY, L. A. GROSS, J. E., SPALINGER, D. E., HOBBS, N. T., and WUNDER, B. A. 1994. The scaling of intake rate in mammalian herbivores. *Am. Nat.* 143:1055-1082.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE INC. 1990. *SAS User's Guide: statistics*, Cary, N. C.
- STRITZLER, N.P. y GINGINS, M. A. 1983. Efectos del tamaño del animal sobre la masticación de los granos. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 10:115-119.
- SUDWEEKS, E. M., EL, L. O. and SISK, L. R. 1980. Effect of intake on chewing activity of steers. *J. Dairy Sci.* 63:152-154.
- SUDWEEKS, E. M., McCULLOUGH, M. E., SISK, L. R. and LAW, S. E. 1975. Effects of concentrate type and level and forage type on chewing time of steers. *J. Anim. Sci.* 41:219-224.
- TEETER R. G., OWENS, F. N., WILLIAMS, J. E. and BARTON, W. 1980. Roughage concentrates associative effects. *Oklahoma Agr. Exp. Sta. MP-107*:156.

- THEURER, B. C. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649-1662.
- TILLEY, J. M. K. and TERRY, R. A. 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Br. J. Grassland Soc.* 18:104-111.
- TURGEON, O. A., BRINK, D. R. and BRITTON, R. A. 1983. Corn particle size mixtures, roughage level and starch utilization in finishing steer diets. *J. Anim. Sci.* 57:739-749.
- VANCE, R. D., PRESTON, R. L., KLOSTERMAN, E. W. and CAHILL, V. R. 1972. Utilization of whole shelled and crimped corn grain with varying proportion of corn silage by growing finishing steers. *J. Anim. Sci.* 35:598-605.
- WELCH, J. G. 1982. Rumination, particle size and passage from the rumen. *J. Anim. Sci.* 54:885-894.
- WILLIAMS, C. M., DAVIS, D. J., and LISMA, I. 1962. The determination of chromic oxide in feces samples by atomic absorption spectrophotometer. *J. Agric. Sci.* 59:381-385.
- WHELEER, W. E. and NOLLER, C. H. 1977. Gastrointestinal tract pH starch in feces of ruminants, *J. Anim. Sci.*, 44:131-135.
- WILSON, G. F., ADEEB, N. N. and CAMPLING, R. C. 1973. The apparent digestibility of maize grain when given in various physical forms to adult sheep and cattle. *J. Agric. Sci., Camb.* 80:259-267.

- ZINN, R. A. and OWENS, F. N. 1980. Influence of roughage level and feed intake level on digestive function. Oklahoma. Agric. Exp. Sta. MP-107:150.