

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

Efecto del consumo de maíz extruido sobre la digestibilidad en raciones de rumiantes basadas en ensilaje de ballica italiana (*Lolium multiflorum* L) – avena (*Avena strigosa* Schreber).

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Licenciado en Agronomía

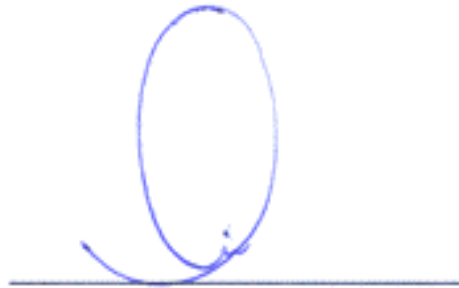
Soledad del Carmen Navarrete Quijada

VALDIVIA – CHILE

2005

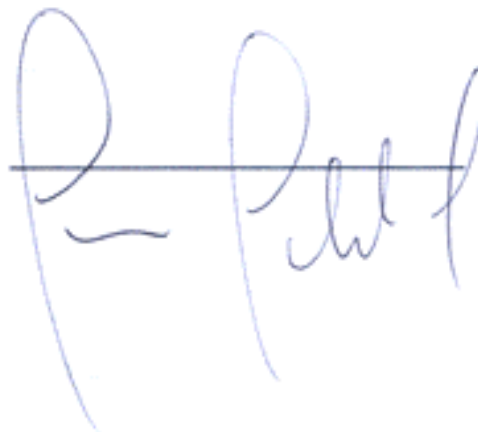
PROFESOR PATROCINANTE

René Anrique G.
Ing. Agr., Mg. Sc., Ph.D.



PROFESORES INFORMANTES

Luis Latrille L.
Ing. Agr., Mg. Sc., Ph.D.



Suzanne Hodgkinson.
B.Sc., M.Sc., Ph.D.



INDICE DE MATERIAS

Capitulo		Página
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1	Producción nacional de cereales	3
2.2	Generalidades de granos de cereales	4
2.2.1	Digestión ruminal del almidón	6
2.2.2	Digestión postruminal del almidón	8
2.3	Procesamiento del grano de maíz	10
2.3.1	Maíz molido y rolado en seco	14
2.3.2	Maíz laminado al vapor	15
2.3.3	Maíz extruido	15
2.4	Importancia del maíz en la ración de rumiantes	16
2.5	Efecto del consumo de grano de maíz en rumiantes	16
2.5.1	Efecto del grano de maíz sobre la digestibilidad de la ración	18
2.5.1.1	Efecto sobre la digestibilidad de la materia seca y materia orgánica	18
2.5.1.2	Efecto sobre la digestibilidad de la proteína	18
2.5.1.3	Efecto sobre la digestibilidad del almidón y la fibra	19
2.6	Digestibilidad	21
2.6.1	Método para determinar digestibilidad <i>in vivo</i>	21
2.6.1.1	Periodo de adaptación	22
2.6.1.2	Periodo de colección	23

Capítulo		Página
3	MATERIAL Y METODOS	24
3.1	Ubicación y duración	24
3.2	Animales empleados	24
3.3	Tratamientos	25
3.4	Característica de los alimentos	25
3.5	Manejo alimentario	26
3.6	Procedimiento	27
3.6.1	Etapa adaptación	27
3.6.2	Etapa colección	27
3.7	Colección y muestreo	28
3.7.1	Fecas limpias	28
3.7.2	Fecas sucias	28
3.7.3	Alimentos	29
3.7.4	Rechazos	29
3.8	Análisis de las muestras	29
3.9	Determinación de la digestibilidad <i>in vivo</i>	31
3.10	Diseño experimental y análisis estadístico	31
4	PRESENTACION DE RESULTADOS	32
4.1	Composición química de los alimentos	32
4.2	Resultados de digestibilidad aparente	34
4.2.1	Digestibilidad aparente de la MS, MO y PB	35
4.2.2	Digestibilidad de la fibra (FDN y FDA)	36

Capítulo		Página
5	DISCUSION DE RESULTADOS	38
5.1	Composición química de los alimentos	38
5.2	Digestibilidad aparente de la MS y MO	39
5.3	Digestibilidad aparente de la proteína	41
5.4	Digestibilidad aparente de la fibra (FDN y FDA)	42
6	CONCLUSIONES	45
7	RESUMEN	46
	SUMMARY	48
8	BIBLIOGRAFIA	49
	ANEXOS	56

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Habilidad para digerir granos de cereales no procesados por el ganado bovino	9
2	Rango de temperatura de gelatinización	11
3	Principales métodos de procesamiento aplicado a los granos de cereales.	12
4	Efecto de varias técnicas de procesamiento en granos de cereales y función digestiva	13
5	Composición de las raciones experimentales (% BMS)	25
6	Ración experimental según tratamientos (Base tal cual).	26
7	Periodos de adaptación y colección.	27
8	Análisis químicos y determinaciones realizados a las muestras	30
9	Composición química de los alimentos empleados en el estudio (BMS)	32
10	Composición química de las raciones experimentales (% BMS)	33
11	Alimentos suministrados por tratamiento y categoría de peso (kg MS/d)	34
12	Efecto del nivel de inclusión de maíz extruido en la ración sobre la digestibilidad aparente de la MS, MO y PB	35
13	Efecto del nivel de inclusión de maíz extruido en la ración sobre la digestibilidad de la fibra (FDN y FDA)	36
14	Efecto de la categoría de peso sobre las variables de digestibilidad de la ración	37

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Superficie nacional de cereales	3
2	Composición nutricional de varios granos de cereales	5
3	Contenido de nutrientes de varias partes del grano de maíz	6
4	Relación entre nivel de maíz extruido en la ración y la digestibilidad de la MS, MO y PB	40
5	Relación entre la digestibilidad de la fibra (FDN y FDA) y el nivel de maíz extruido en la ración	43

INDICE DE ANEXOS

Anexos		Página
1	Colección diaria de fecas limpias (base tal cual)	57
2	Producción total de fecas (kgMS)	58
3	Composición química de las fecas (% BMS)	59
4	consumo diario por animal de MS, MO, PB, FDN Y FDA (kg/d)	60
5	Excreción diaria por animal (kg/d)	61
6	Digestibilidad de las raciones experimentales (%)	62
7	Matriz de correlaciones entre las variables de digestibilidad	63
8	Relación entre la digestibilidad de la FDN y FDA	63
9	Relación entre la digestibilidad aparente de la MS y PB	64
10	Análisis de varianza para DMS	65
11	Análisis de varianza para DMO	65
12	Análisis de varianza para DPB	65
13	Análisis de varianza para DFDN	66
14	Análisis de varianza para DFDA	66

1 INTRODUCCION

El grano de maíz es una de las principales fuentes de energía de los concentrados que se suministran al ganado lechero. Como es sabido desde hace años, a pesar de su alta digestibilidad, este grano, es uno de los que presenta la menor degradabilidad ruminal, por lo cual la entrega de energía a la fermentación puede ser insuficiente.

En Chile el maíz rolado al vapor ha ido teniendo una creciente utilización, el cual es un procesamiento importante en USA, donde el grano de maíz es de alto uso en la alimentación animal. En el país recientemente se esta incorporando maíz extruido, cuyas características, en general, han sido poco estudiadas y existe una escasa disponibilidad de información en la literatura internacional.

Los métodos de procesamiento de granos se hacen necesarios para aumentar su degradabilidad ruminal, ya sea por medio de la disminución del tamaño de las partículas o por la gelatinización de su almidón. Esto es, debido en primer lugar, a que cuando se disminuye el tamaño de partícula existe una mayor superficie a la cual tienen acceso las bacterias fermentativas. Sin embargo existe cierta información que sugiere que la mayor entrega de energía asociada a la mayor degradabilidad puede afectar negativamente la digestibilidad de la fibra por una acidificación ruminal.

La extrusión del maíz es un procesamiento que implica presión y altas temperaturas provocando la gelatinización del almidón. La temperatura se logra por inyección directa de vapor, sin embargo los alimentos a extruir son expuestos por poco tiempo a estas altas temperaturas. Debido a la gelatinización la estructura química interna del grano y la matriz proteica asociada al almidón es desestabilizada y desnaturalada provocando como efecto que el almidón, o el grano en si, sea mas degradable ruminalmente.

La hipótesis de esta investigación es que al aumentar el consumo de maíz extruido en la dieta de rumiantes se reduzca la digestibilidad de la fibra y de la ración.

En consecuencia se ha desarrollado el presente estudio con los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Evaluar el efecto del nivel de maíz extruido en la dieta sobre la digestibilidad aparente de la dieta.

Objetivo específico:

Evaluar el efecto del nivel del maíz extruido sobre la digestibilidad aparente de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína (PB) y fibra (FDN, FDA).

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Producción nacional de cereales.

La superficie dedicada al cultivo de cereales en Chile entre los años 2002-2003 fue de 648.613 ha, lo cual corresponde al 77,37% de la superficie nacional sembrada. El trigo fue el cereal más cultivado con un 61% de esta superficie, seguido por el maíz, el cual representó el 16% del total del área dedicada a los cereales (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS (INE), 2005). El maíz es un grano usado tanto para la alimentación humana como animal debido a su alto contenido de energía entregado por su almidón.

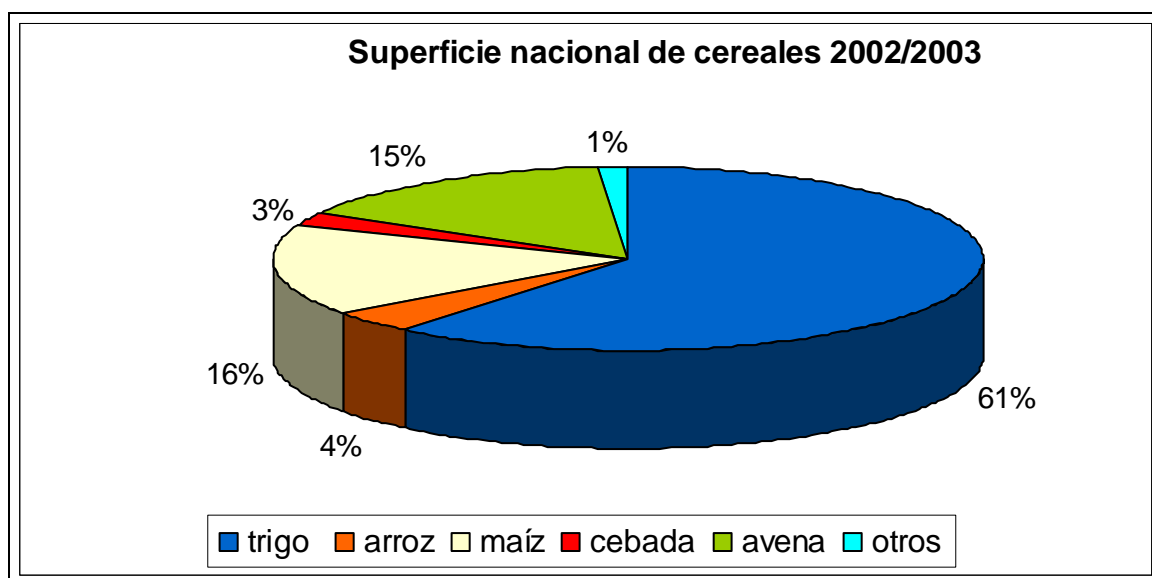


FIGURA 1 Superficie Nacional de cereales.

FUENTE: INE (2005).

En los cereales cabe destacar el alto rendimiento por hectárea que presenta el maíz (105,9 qm/ha), siendo, este rendimiento, mucho menor para los granos de trigo, cebada, avena y arroz los cuales presentan rendimientos de 42.7, 44.2, 44.6 y 50.7 qm/ha respectivamente (INE, 2005)

2.2 Generalidades de los granos de cereales.

Los granos de cereales son considerados alimentos con alto contenido de energía (POND *et al.*, 2002), siendo ésta la principal fuente usada en la dieta de animales (ROWE *et al.*, 1999). Los carbohidratos presentes en los granos de cereales, con excepción de la cascarilla, son principalmente almidones muy digestibles (POND *et al.*, 2002), siendo un nutriente primordial en aquellas dietas de rumiantes usadas para promover altos niveles de consumo (THEURER, 1986), además de ser una importante fuente de energía en vacas lecheras de alta producción (JOY *et al.*, 1997).

El almidón es un glucano compuesto por dos tipos de moléculas, amilosa y amilopectina. Los cereales contienen entre un 20 a 30% de amilosa y la amilopectina comprende del 70 al 80% en la mayoría de los granos (ROONEY y PFLUGFELDER, 1986). ROONEY y PFUGFELDER (1986) y CAMPS y GONZALES (2005) señalan que aproximadamente entre el 70 a 80% de la materia seca de los granos de cereales está constituida de almidón, el cual es más digestible en algunos granos que en otros, y su disponibilidad ruminal también diferirá entre variedades para un mismo tipo de grano.

HUNTINGTON (1997), indica que el contenido de almidón en el trigo, con un 77%, es el más alto entre los granos, seguidos por maíz y sorgo con un 72%; el contenido de almidón es tan solo un 57 y 58% en cebada y avena. Sin embargo, ROWE *et al.* (1999) reportan un 76% de almidón para maíz y trigo, 75% para sorgo, 61% para cebada y un 42% para avena.

En la Figura 2, se puede apreciar gráficamente la composición nutricional del grano de maíz, sorgo, trigo, avena y cebada descritos por OWENS y ZINN (2005). Se observa un nivel similar de almidón para maíz y sorgo, con un 70%, seguido por trigo, cebada y avena con 61, 52 y 43% de almidón, respectivamente.

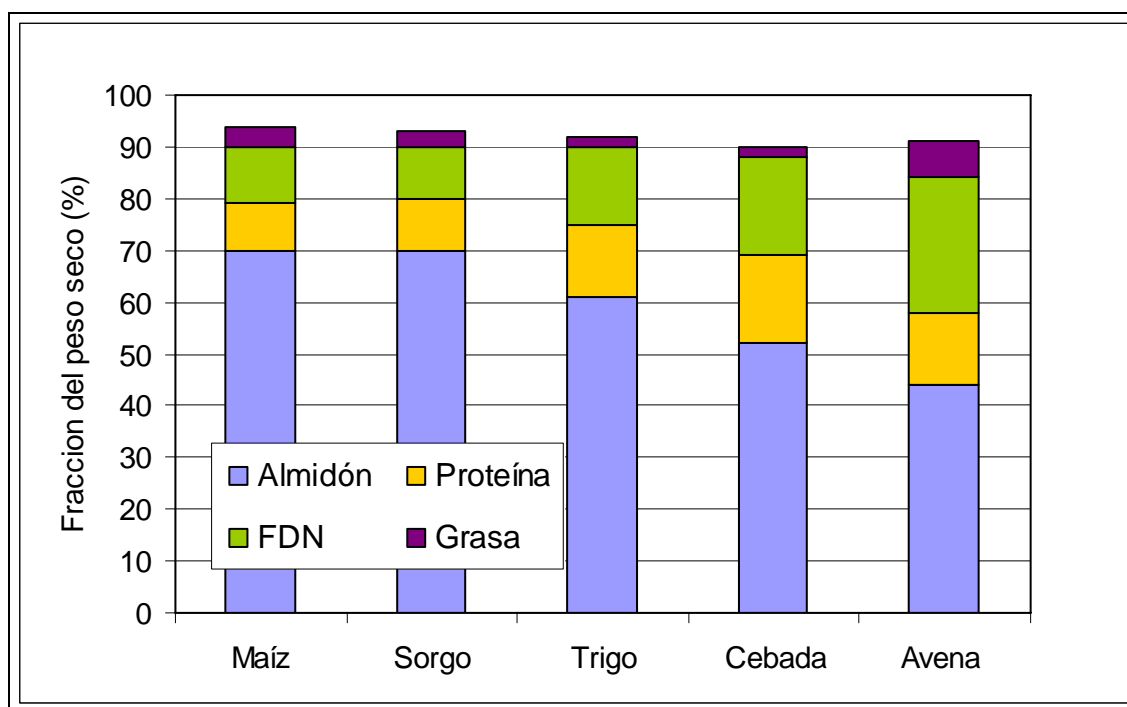


FIGURA 2 Composición nutricional de varios granos de cereales.

FUENTE: OWENS y ZINN (2005).

Los granos de cereales además difieren en su estructura, la cual varía. Se puede observar en la Figura 3 que la mayor parte de la grasa y de las cenizas, en el grano de maíz, están localizadas en el germen, el pericarpio contiene la mayoría de la FDN y el almidón se encuentra presente casi en su totalidad en el endosperma (OWENS y ZINN, 2005).

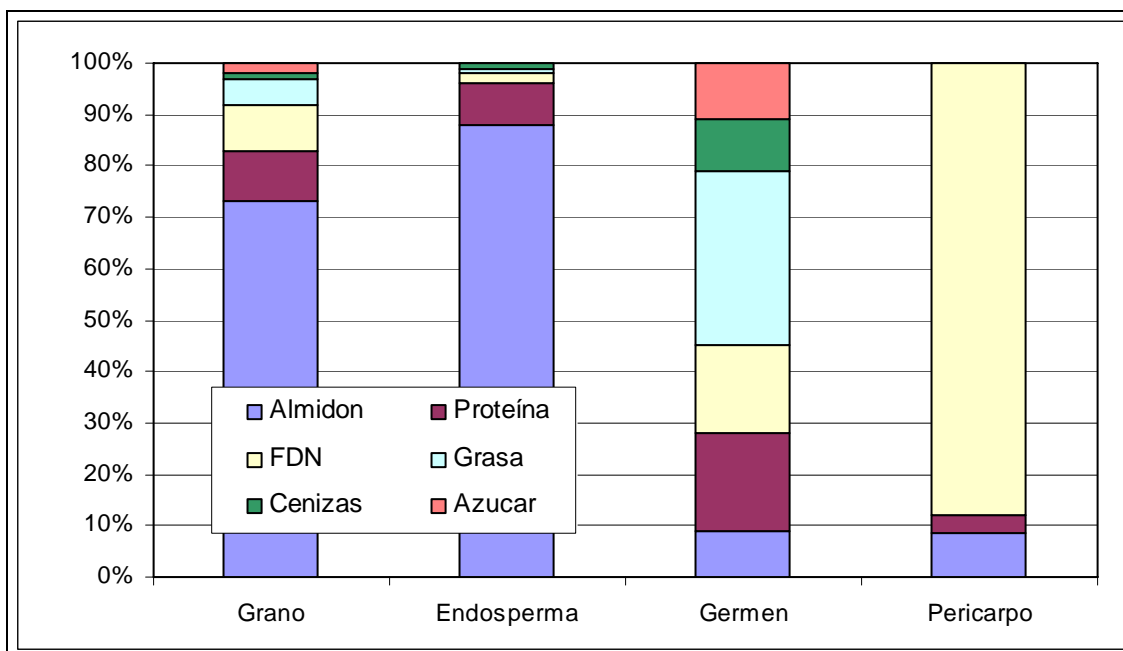


FIGURA 3 Contenido de nutrientes de varias partes del grano de maíz.

FUENTE: Watson (2003) citado por OWENS y ZINN (2005).

2.2.1 Digestión ruminal del almidón. En el rumen el almidón es fermentado a ácidos grasos volátiles (AGV), acético, propiónico y butírico, siendo la intensidad de este proceso degradativo variable y dependiente de la magnitud de la fracción potencialmente degradable y de su tiempo de retención en el rumen (GUARDA, 1993).

Los granos de cereales enteros son más resistentes a la digestión ruminal ya que resisten al ataque realizado por las bacterias ruminales. Las diversas formas de procesamiento existentes aumentan en grado variable la degradabilidad del almidón al proveer oportunidades a las bacterias para que se adhieran a los gránulos de almidón. (HUNTINGTON, 1997). Galyean et al, 1981 citados por OWENS *et al.* (1986), señalan que la tasa de digestión ruminal del almidón de los diferentes granos varía inversamente con el tamaño de la partícula del grano; los granos intactos de cebada y maíz no son degradados en

el rumen, mientras que almidones puros de varios granos son rápidamente fermentados por los microorganismos ruminales.

La degradabilidad ruminal del almidón es afectada por la composición y forma física del mismo, por la interacción proteína-almidón, por la integridad celular de las unidades que contienen almidón, por factores antinutricionales y por la forma física del alimento, además la digestibilidad de este principal constituyente en los cereales es inversamente proporcional al contenido de amilosa (ROONEY y PFLUGFELDER, 1986).

Las bacterias ruminales que fermentan el almidón son diferentes a las que fermentan la celulosa, las primeras son poco sensibles a la acidez ruminal, fermentando con la misma eficacia tanto a pH 5,5 como a pH 7,0 (ORSKOV, 1990), produciendo una mayor proporción de ácido propiónico que las bacterias que fermentan la celulosa y hemicelulosa. Esto puede causar una reducción el contenido de grasa de la leche (OWENS *et al.*, 1986). La gran cantidad de ácido propiónico producida estimula la secreción de insulina, lo que resulta en una menor disponibilidad de los precursores de grasa para la glándula mamaria, pues la insulina estimula el uso de los ácidos grasos para la síntesis de grasa en el tejido adiposo (BACH, 2002).

Al aumentar la cantidad de almidón consumida tiende a reducirse la cantidad digerida en el rumen, lo cual está probablemente relacionado a un aumento en la tasa de pasaje de partículas de alimentos al rumen y a una reducción del tiempo de fermentación ruminal (ROWE *et al.*, 1999).

ORSKOV (1986) señala que sobre el 40% del almidón del grano de maíz, sin tratar, puede escapar a la fermentación ruminal. Si el maíz es adecuadamente procesado (con la aplicación de humedad y calor) antes de suministrarlo a los animales, entonces virtualmente todo su almidón puede ser fermentado en el rumen.

2.2.2 Digestión postruminal del almidón. El almidón que no es digerido en el rumen llega al intestino delgado donde es ser hidrolizado a glucosa por la amilasa pancreática (BLASS *et al.*, 1995), enzima que hidroliza la amilosa y amilopectina del almidón en dextrinas (principalmente hidrólisis de la amilopectina) y oligosacaridos de dos a tres unidades de glucosa. El proceso es completado por oligosacaridasas que están ubicadas en el borde de cepillo de la membrana (HUNTINGTON, 1997). El siguiente paso del almidón será en el ciego y resto del intestino grueso donde puede ser fermentado (BLASS *et al.*, 1995), entregando productos finales similares a los de la fermentación ruminal, principalmente AGV (ORSKOV, 1986).

Harmon (1993) citado por HUNTINGTON (1997), señala que la secreción y producción de enzimas que digieren el almidón en el intestino responden más a la cantidad de energía consumida por el animal que a la cantidad de almidón en la dieta.

En promedio desde un 5 a 20% del almidón consumido es digerido postruminalmente, realizándose la mayor parte de esta digestión en el intestino delgado (HUNTINGTON, 1997), además la digestibilidad intestinal del almidón es inversamente proporcional a la digestibilidad ruminal (BLASS *et al.*, 1995).

OWENS y ZINN (2005), señalan que varias revisiones han sugerido que la digestibilidad intestinal del almidón disminuye cuando el flujo de almidón al intestino aumenta. Esta conclusión se basa en la regresión entre la desaparición del almidón postruminal y varios métodos de procesamiento del grano. El flujo de almidón que llega al intestino delgado usualmente es mayor para granos no procesados, los que a su vez son menos digeridos en el intestino que los granos procesados. Cuando fue colocado almidón puro (aislado) directamente en el intestino la capacidad de digestión en el intestino delgado fue limitada por la cantidad de amilasa pancreática secretada y el corto tiempo durante el cual podría actuar (ORSKOV, 1986).

En el Cuadro 1 se puede observar valores de digestibilidad de los diferentes granos de cereales en ganado bovino, donde resalta la mayor digestibilidad en el tracto total y en el intestino delgado del trigo y de la avena y la menor habilidad del ganado para digerir el sorgo.

CUADRO 1 Habilidad para digerir granos de cereales no procesados por el ganado bovino.

Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo	Avena
Digestibilidad en el tracto total (% de almidón consumido)				
93	87	93	98	98
Digestibilidad en intestino delgado (% de almidón que entra al estomago)				
66	63	73	85	76
Fermentado en el rumen (% de almidón consumido)				
76	64	87	89	92

FUENTE: Adaptado de ROWE *et al* (1999).

2.3 Procesamiento del grano de maíz.

Los métodos de procesamientos a los que se someten los granos de cereales son un tema que se ha discutido por años, habiéndose diseñado una amplia variedad de métodos (OWENS *et al.*, 1997).

Mediante tratamientos de distintas intensidades es posible influir en la rapidez con que serán fermentados en el rumen los granos de cereales; el grado de tratamiento óptimo será aquel con el que se obtiene una digestibilidad aceptable, cercana a la total del grano (ORSKOV, 1990).

La mayoría de los métodos de procesamiento tiene como objetivo principal mejorar la disponibilidad ruminal del almidón, lo cual trae como resultado mejoras en la eficiencia alimentaría; en el grano de maíz la eficiencia alimentaría aumenta de un 3 a 5% (GAEBE *et al.*, 1998). OWENS *et al.* (1997), además agregan que con el procesamiento se pueden destruir micotoxinas presentes en los granos.

El procesamiento es necesario en todos los cereales para romper la cascarilla, especialmente en maíz y sorgo (CROCKER *et al.*, 1998). La respuesta esperada es más grande en estos granos debido a que tienen su almidón rodeado por una capa de proteína insoluble (OWENS *et al.*, 1997), siendo este el factor de mayor importancia que parece explicar las diferencias en la digestión ruminal entre los granos de cereales (Stern *et al.* (1994), citados por THOMPSON, 1998).

POND *et al.* (2002) y GUADA (1993) señalan que los métodos de procesamiento se pueden dividir de manera conveniente en procesos en seco y húmedos o bien en procesos en frío o en caliente. El calor es una parte fundamental en algunos métodos, pero en otros no se utiliza en absoluto (POND, 2002). Al aplicar calor se logra un cierto grado de gelatinización de los

gránulos de almidón (GUADA, 1993). THEURE (1986) utiliza el termino granos procesados para incluir a los métodos extensivos como laminado al vapor, reconstituido, alto en humedad, expandido, micronizado; mientras que el termino no procesado se refiere a granos enteros o aquellos minimamente procesados, incluyendo partido, molido o roleado seco.

La humedad y altas temperaturas comienzan el proceso de gelatinización, el cual es caracterizado por la destrucción de la matriz proteica que rodea los gránulos de almidón y por la expansión de ellos mismos. La temperatura a la cual se producen estos cambios es llamada temperatura de gelatinización y es característica para los diferentes tipos de granos (ROWE *et al.*, 1999). En el Cuadro 2 se señalan los rangos de temperatura a la cual ocurre la gelatinización en diferentes granos.

CUADRO 2 Rango de temperatura de gelatinización.

	Maíz	Sorgo	Trigo
Temperatura (°C)	62-72	69-75	52-63

FUENTE: Adaptado de ROWE *et al.* (1999).

La gelatinización comienza por la ruptura de enlaces con la amilosa en la zona amorfa, mientras que la penetración de agua y calor en la zona cristalina ocurre más lentamente (ROONEY y PFLUGFELDER, 1986). Durante este proceso los gránulos de almidón aumentan su absorción de agua, se expanden, exudan parte de la amilosa y aumentan su susceptibilidad a la hidrólisis enzimática (GUADA, 1993).

En el Cuadro 3 se exponen los métodos de procesamiento que pueden ser aplicados a los granos de cereales según GUADA (1993). Otra clasificación de procesamientos y la función digestiva se presentan en el Cuadro 4.

CUADRO 3 Principales métodos de procesamiento aplicados a los granos de cereales.

	Tratamiento	
	Seco	Húmedo
En frío	Triturado Molido Aplastado	Maceración Reconstitución Tratamiento alcalino
Caliente	Expandido Micronizado Torrefactado Extruido	Laminado al vapor Granulado Cocción a presión Descompresión

FUENTE: GUADA (1993).

CUADRO 4 Efecto de varias técnicas de procesamiento en granos de cereales y función digestiva.

Procesamiento o tratamiento del grano	Destrucción del pericarpio o exposición del endosperma	Reducción en el tamaño de la partícula	Destrucción del granulo de almidón	Destrucción de la matriz del endosperma	Aumento en la tasa de fermentación	Aumento en la digestión intestinal
Rolado en seco	+++	+	-	-	++	+
Molido	+++	+++	-	-	++	+
Laminado al vapor	+++	++	+	+	+++	++
Extruido	+++	-	++	+	++	++
Peletizado	+++	-	+	?	+	++
Ensilado	+		++	-	++	+
Micronización	+	+	?	?	?	+

FUENTE: Adaptado de OWENS y ZINN (2005).

2.3.1 Maíz molido y rolado en seco. En ambos procesamientos, el método consiste en romper la cascarrilla, reducir el tamaño de las partículas y así aumentar el área de superficie del grano para la digestión (ROWE *et al.*, 1999).

FIRKINS *et al.* (2001) indican que el maíz convencionalmente ha sido molido. Recientes investigaciones han puesto su atención en la fineza del molido para vacas en lactancia, lo cual aumentaría considerablemente la disponibilidad ruminal del almidón. El grano de maíz debe ser molido finamente para maximizar la digestión en el tracto digestivo total, porque las partículas que son más grandes e hidrofobicas resistirán al ataque microbiano en el rumen y enzimático en el intestino (OWENS y ZINN, 2005).

POND *et al.* (2002) describen el proceso del maíz molido, señalando que los granos son molidos en un molino, donde pasan a través de una criba de metal la cual puede ser cambiada para modificar el tamaño del producto final, obteniéndose un grano de maíz que variará desde partículas del tamaño similar al grano partido hasta polvo fino. Produciéndose un mayor rango en el tamaño de las partículas debido a la fineza generada durante el molido (OWENS y ZINN, 2005).

En el procesamiento de maíz rolado en seco, los granos son pasados entre amplios rodillos con el fin de romper el grano en varias piezas (THEURER *et al.*, 1999). El tamaño de la partícula disminuye y se altera el sitio de digestión del almidón desde el rumen hasta el intestino causando un efecto simultáneo en ambos sitios (CROCKER *et al.*, 1998). Aunque OWENS y ZINN (2005) señalan que el maíz rolado que abandona el rumen es pobremente digerido en el intestino delgado, pudiendo ser fermentado en el intestino grueso.

2.3.2 Maíz laminado al vapor. Este sistema de procesamiento es más extensivo que el rolado en seco y con un cuidadoso control de calidad. Los granos son cocidos al vapor por 30 – 40 minutos en una cámara de acero inoxidable para luego ser laminados en rodillos. (THEURER *et al.*, 1999). A pesar que ROWE *et al.* (1999) mencionan que la cocción se realiza por 10 – 40 minutos. ROWE *et al.* (1999) concuerda con THEURER *et al.* (1999) en señalar que con la cocción al vapor se quiere lograr un contenido de humedad de 18 – 20%.

ALOMAR y PULIDO (2001), explican que la cocción a vapor se realiza a 100 °C y con 1 atmósfera de presión, con una separación entre los rodillos de 0.005 mm ejerciéndose una presión de 1000 psi.

Los estándares de calidad para maíz laminado al vapor están basados usualmente en algunas mediciones físicas como el grosor de la hojuela (mm; tomada del promedio de 10 hojuelas seleccionadas al azar), la densidad de la hojuela (kg/L), solubilidad del almidón y reactividad enzimática (ZINN *et al.*, 2002).

OWENS y ZINN (2005) señalan que el grado de daño causado al almidón y la magnitud de denaturación de la proteína en granos laminados varía con las condiciones del procesamiento. La magnitud del proceso aumenta cuando disminuye la densidad de las laminas (THEURER *et al.*, 1999).

2.3.3 Maíz extruido. La extrusión fue aplicada por primera vez a los alimentos secos expandidos para alimentación animal en la década del 50. El grano extruido, es producido por una máquina (extrusora) que aplica calor y presión (CAMPS y GONZALES, 2005). Utilizándose humedad, alta temperatura y presión (ROWE *et al.*, 1999).

El proceso consiste en la producción de calor (140-145 °C) causada por la fricción bajo presión (30-40 atmósferas) cuando el producto es forzado por un tornillo sinfín dentro de cámaras de compresión. Todo esto toma menos de 30 segundos, por lo cual los nutrientes no se dañan ni se destruyen. Al salir del extrusor se produce la expansión de los granos (BRAUN, 2001).

Cabe destacar que si bien las temperaturas para la extrusión son altas, los granos son sometidos por poco tiempo a ella (15-30s). La temperatura, presión y la duración de la aplicación de ambos pueden variar considerablemente y no todos los procesos de extrusión conducen a los mismos cambios en el grano (ROWE *et al.*, 1999).

2.4 Importancia del grano de maíz en la ración de rumiantes.

El grano de maíz se usa masivamente como fuente de energía para el ganado. Es un alimento muy importante en Norteamérica, siendo las diversas formas de procesamiento de gran importancia y con el fin de maximizar la utilización del grano de maíz por el ganado lechero (KRAUSE *et al.*, 2003).

El almidón al ser el componente dominante del maíz, es el principal nutriente en típicas raciones de terminación para promover altos niveles de producción (COOPER *et al.*, 2002). LARDY (2002) agrega que este grano puede ser usado en diferentes programas de crecimiento y servir como suplemento en dietas basadas en forrajes.

2.5 Efecto del consumo de grano de maíz en rumiantes.

HUNTINGTON (1997) señala que la ventaja de dar dietas altas en granos es promover la capacidad de los rumiantes en digerir el almidón en el intestino delgado, ya que la absorción y metabolismo de la glucosa absorbida en el intestino parece ser energéticamente más eficiente que la fermentación y

absorción de ácidos orgánicos volátiles. Sin embargo, un elevado suministro de almidón puede reducir la actividad celulolítica en el rumen causando una depresión en el consumo de forrajes y una disminución en el pH ruminal, todo esto inducido por una rápida fermentación del almidón y también por la rápida disponibilidad de este carbohidrato a nivel ruminal (GARNSWORTHY y COLE, 1996).

Tratamientos como la molienda fina de granos tienden a aumentar la velocidad de fermentación del almidón, por lo que granos tratados pueden inducir a una acidosis con más facilidad que los no tratados. La aparición de acidosis en el rumen viene siempre acompañada de la acumulación de ácido láctico, el cual sólo puede provenir de la fermentación láctica del almidón, maltosa, rafinosa, sucrosa, lactosa, celobiosa, fructosa y glucosa. Por ende la acidosis dependerá del aporte de este carbohidrato (BACH, 2002).

Además, cuando aumentan los carbohidratos disponibles ruminalmente en la ración, el consumo de MS (CMS) también aumenta (CROCKER *et al.*, 1998). Sin embargo JOY *et al.* (1997), quienes compararon maíz rolado en seco con laminado al vapor, señalaron que el CMS no fue afectado por estos métodos de procesamiento, cuando su nivel de inclusión es de 24% en la ración.

Al ser evaluado el efecto del maíz extruido sobre el CMS, SHABI *et al.* (1999) y GAEBE *et al.* (1998) demostraron que este disminuía, atribuyendo SHABI *et al.* (1999), este efecto sobre el consumo a la menor densidad que presenta el grano de maíz extruido. FIRKINS *et al.* (2001) a su vez indican que el maíz molido finamente también disminuye el consumo de MS, cuando es comparado con maíz toscamente molido.

2.5.1 Efecto del grano de maíz sobre la digestibilidad de la ración. La inclusión de maíz como fuente de energía en raciones para rumiantes, como vacas en lactancia o novillos de engorda, va acompañada de diferencias en la digestibilidad de la ración total según el método de procesamiento y la proporción de maíz que se esté suministrando.

2.5.1.1 Efecto sobre la digestibilidad de la materia seca y materia orgánica. CROCKER *et al.* (1998) estudiaron la combinación de maíz rolado en seco con laminado al vapor, y no encontraron diferencias en la digestibilidad de la MS en el tracto digestivo total. SHABI *et al.* (1999) y GAEBE *et al.* (1998) tampoco reportaron ese efecto para maíz extruido al compararlo con rolado en seco.

Por otro lado la digestibilidad ruminal y postruminal de la MO de la ración no es afectada, ya sea por maíz rolado en seco o maíz laminado al vapor. No obstante la cantidad de MO digerida postruminal aumenta linealmente cuando se suministra maíz laminado al vapor en reemplazo de rolado en seco, lo cual está asociado a la mayor digestibilidad del almidón del maíz laminado (CROCKER *et al.*, 1998). SHABI *et al.* (1999) no reportaron efectos de la presencia de maíz extruido en la dieta sobre la digestibilidad ruminal, postruminal y total del tracto para la MO de la ración, pero sí encontraron una mayor degradabilidad ruminal de la MO con el grano extruido.

JOY *et al.* (1997) indican que el maíz laminado de menor densidad presenta una mayor digestibilidad ruminal de la MO y una menor digestibilidad postruminal de la MO cuando su proporción en la ración es de un 24%.

2.5.1.2 Efecto sobre la digestibilidad de la proteína. La síntesis microbiana en el rumen depende tanto del suministro de energía como de sustratos nitrogenados, por lo que un desequilibrio entre ellos, o en su velocidad de digestión puede afectar significativamente el resultado de la digestión ruminal

(BLASS *et al.*, 1995). Según Herrera-Saldana *et al.* (1999), citados por PASSINNI *et al.* (2004), es de extrema importancia la sincronización de energía y proteína en el rumen con el fin de maximizar la fermentación y producción de proteína microbiana. Aumentándose así el flujo de proteína bacteriana desde el rumen al intestino (HUNTINGTON, 1997), y aportando la mayoría del suministro de proteína al intestino delgado de los rumiantes, desde un 50 a 80% del total de la proteína absorbible (BACH *et al.*, 2005).

Cuando aumenta la disponibilidad de almidón en el rumen hay un mayor crecimiento microbiano hasta que la depresión en la digestibilidad ruminal de la fibra o el CMS compensen el aumento en la cantidad de carbohidratos disponibles para la síntesis microbiana (FIRKINS *et al.*, 2001). Endres y Stern (1993) citados por BACH *et al.* (2005), observaron una reducción en la digestión de la proteína y la FDN cuando el pH disminuía de 6,3 a 5,9; Las bacterias proteolíticas no eran afectadas por el pH, pero las bacterias celulolíticas se redujeron en cerca de un 50% (BACH *et al.*, 2005).

2.5.1.3 Efecto sobre la digestibilidad del almidón y la fibra. Los granos de maíz enteros presentan una digestibilidad del almidón en el tracto digestivo total de un 90%, la cual aumentaría en grano molido o rolado a un 93%, y un 98,5% en laminado al vapor (BLASS *et al.*, 1995). GAEBE *et al.* (1998) encontró esta digestibilidad es mayor para grano extruido en 10 unidades porcentuales cuando es comparado con grano rolado en seco. DEW *et al.* (2002) señalan una mayor digestibilidad del almidón para maíces laminados al vapor, al comparar con rolado en seco. JOY *et al.* (1997) y CROCKER *et al.* (1998), concuerdan con estos resultados. JOY *et al.* (1997), indica que maíces laminados al vapor de menor densidad presentan una mayor digestibilidad del almidón.

THEURER (1999), señala que la mayoría de la digestión postruminal del almidón en novillos ocurre en el intestino delgado, y maíces laminados aumentarían esta digestibilidad en este segmento del intestino.

En raciones que son altas en carbohidratos fermentables y bajas en fibra efectiva se afecta negativamente la fermentación ruminal de la fibra, causada por un descenso en el pH ruminal (KRAUSE *et al.*, 2002). Esto debido a que las bacterias que fermentan la celulosa son muy sensibles a la acidez, desarrollando mejor su actividad cuando el pH se encuentra entre 6.4 y 7.0 y pudiendo llegar a ser nula cuando el pH es inferior a 6.0 (ORSKOV, 1990).

Cuando se aumenta la proporción de maíz laminado al vapor y disminuye el maíz rolado en seco en la dieta, la digestibilidad ruminal de la FDN y celulosa es deprimida (CROCKER *et al.*, 1998). No obstante si se comparan por separado estos dos tipos de procesamiento, la digestibilidad en el tracto digestivo total de la FDN, FDA y celulosa no presentan diferencias significativas, observándose para maíz laminado al vapor una mayor cantidad de FDN y celulosa digeridos en el rumen (JOY *et al.*, 1997).

SHABI *et al.* (1999) no reportaron efectos del grano de maíz extruido sobre la digestibilidad ruminal de la FDN, aunque observaron una tendencia a ser menor que en maíz molido. Sin embargo, GAEBE *et al.* (1998) señalan que granos extruidos disminuyeron la digestibilidad de la FDN y FDA en 23 y 30%, respectivamente, cuando el nivel de inclusión fue de 78.6% BMS de la ración.

A niveles de inclusión de 78% la digestibilidad de la FDA se deprimió cuando se alimentó con granos laminados al vapor (DEW *et al.*, 2002). JOY *et al.* (1997) no encontraron diferencias entre maíz laminado al vapor y rolado en seco sobre la digestibilidad de la FDA cuando su proporción en la dieta fue mucho menor (24% BMS de la ración).

ORSKOV (1990) señala que si se les está suministrando a los animales una ración de mantención, la digestión de la celulosa no se verá perjudicada por el concentrado si su aporte en la ración alcanza como máximo el 50%. Aunque el mismo autor reportó que una pequeña proporción de granos (20 a 30%) puede causar un pequeño o ningún efecto en deprimir el consumo y la digestibilidad de la fibra (ORSKOV, 1986).

2.6 Digestibilidad

La digestibilidad es simplemente la diferencia entre la cantidad de alimento consumido y la cantidad excretada en las fecas por un animal, la cual puede ser determinada separadamente para la materia seca (MS), contenido de energía, o fracciones de un alimento (MILLER, 1979).

RYMER (2000) señala que la proporción que no es excretada en las fecas se asume que ha sido absorbido por el animal, la cual es definida como digestibilidad aparente de los alimentos.

El grado de utilización de una ración o alimento se expresa mediante el llamado coeficiente de digestibilidad o coeficiente de utilización digestiva, que corresponde a la fracción de las sustancias ingeridas que son excretadas en las fecas (BUXADE, 1994)

2.6.1 Método para determinar digestibilidad *in vivo*. Las pruebas para determinar la digestibilidad se usan para conocer la proporción de nutrientes de una ración o alimento que es absorbida en el tracto digestivo (POND *et al.*, 2002). El método de digestibilidad *in vivo* requiere saber el consumo de un alimento determinado, o de una ración, suministrada al animal y la colección total de la excreción fecal correspondiente al alimento en estudio en estos animales (BONDI, 1988).

POND *et al.* (2002) indican que el alimento o ración en estudio debe ser administrada a los animales en cantidades conocidas. Además, McDONALD *et al.* (1999) agregan que los alimentos deben ser mezclados homogéneamente para lograr una composición uniforme.

En este tipo de ensayos se debieran emplear varios animales, ya que estos presentan pequeñas diferencias en su capacidad digestiva y porque las repeticiones nos permite detectar posibles errores (McDONALD *et al.*, 1999). Si el alimento en estudio es suministrado solo, tres animales serán suficientes, pero si se alimenta en combinación con otro alimento entonces serán necesarios 4, 6 u 8 animales (RYMER, 2000).

BUXADE (1994) explica que la digestibilidad *in vivo* de los alimentos se realiza preferentemente con animales machos, por la facilidad de separar las fecas de la orina, y se les aloja en jaulas metabólicas. Una vez adaptado el animal a este alojamiento y a la ración se pasa a la fase experimental controlándose la ingestión y las excreciones de fecas y orina (en cantidad y composición) para poder calcular las sustancias absorbidas.

Hay dos etapas en los ensayos de digestibilidad, siendo la primera es el periodo de adaptación y la segundo el periodo de colección (RYMER, 2000).

2.6.1.1 Periodo de adaptación. Omed (1986), citado por RYMER (2000), indica que este periodo esta diseñado para asegurar:

- Que se establezca la población de la microflora del rumen
- Que los animales estén consumiendo la misma cantidad de alimento todos los días
- Que los residuos que están siendo excretados en las fecas provengan de los alimentos usados en la investigación

Sin embargo, McDONALD *et al.* (1999) agregan a estos argumentos que este periodo también tiene la finalidad de acostumar a los animales a la ración experimental y eliminar del tracto digestivo los alimentos consumidos anteriormente.

El largo de duración de la etapa de adaptación deberá ser como mínimo de una semana antes de comenzar la colección fecal (McDONALD *et al.*, 1999). Sin embargo, RYMER (2000) señala que este periodo puede variar de 4 a 12 días. Aunque Omed (1986), citado por RYMER (2000) indica que se requieren de 6 a 8 días, y Chenost y Demarquinill (1992), también citados por RYMER (2000), establecen que para obtener los máximos niveles de consumo será necesario un periodo de adaptación de 10 a 14 días.

2.6.1.2 Periodo de colección. Este periodo es el periodo experimental propiamente tal donde se controla el consumo de los alimentos y la excreción fecal (McDONALD *et al.*, 1999). Debiéndose tomar muestras representativas de los alimentos suministrados, llevar registros de los eventuales rechazos y tomar muestras de estos para poder determinar el consumo (RYMER, 2000).

La duración puede ir de 5 a 14 días, proporcionando una mayor exactitud periodos más prolongados (RYMER, 2000).

3 MATERIAL Y METODOS

El presente estudio es parte del proyecto “Evaluación nutricional de maíz extruido” (DI 290704 convenio 01/EN), asignado al Instituto de Producción Animal de la Universidad Austral de Chile.

3.1 Ubicación y duración

En su fase experimental el presente estudio se realizó en el predio “Vista alegre” perteneciente a la Universidad Austral de Chile que se encuentra ubicado a 7 km al norte de la ciudad de Valdivia, teniendo una duración aproximada de un mes, en septiembre del año 2004. La fase analítica se llevó a cabo en el laboratorio de Nutrición del Instituto de Producción Animal, durante octubre y noviembre del mismo año.

3.2 Animales empleados

Se emplearon 12 novillos jóvenes, provenientes del rebaño lechero de la Universidad Austral de Chile, con un normal desarrollo de su capacidad ruminal. Debido a la desuniformidad de tamaño existente entre los animales y por fines prácticos de suministro de la ración se establecieron dos categorías de peso, clasificándose los animales en:

- Livianos (L), con un peso promedio de 155 kg.
- Pesados (P), con un peso promedio de 185 kg.

Los animales fueron incorporados a jaulas metabólicas, diseñadas para coleccionar cuantitativamente la producción de orina (a través de rejillas ubicadas en el piso de la jaula la cual escurría directamente en un contenedor de plástico cubierto con un paño de algodón para evitar contaminación) y fecas, las cuales eran recogidas en una lámina de plástico ubicada en la parte posterior de cada jaula, directamente sobre el suelo.

3.3 Tratamientos

Los tratamientos estuvieron definidos por el nivel de inclusión de maíz extruido (ME), que se suministró a niveles crecientes, en combinación con maíz molido (MM) de modo tal que la suma de ambos maíces representaron el 40% de la ración; la diferencia (60%) fue aportada por ensilaje de ballica – avena, más sales minerales.

Los niveles de inclusión de ME fluctuaron entre 10 y 40% y los de MM entre 0 y 30%, en combinación con ensilaje de pradera, lo que se detalla en el Cuadro 5.

CUADRO 5 Composición de las raciones experimentales (% BMS).

Tratamiento ¹	Maíz extruido	Maíz molido	Ensilaje
ME10	10	30	60
ME25	25	15	60
ME40	40	0	60

¹ ME10= Ración con 10% ME y 30% MM, ME25= ración con 25% ME y 15% MM, ME40= ración con sólo 40% ME.

3.4 Características de los alimentos

Durante el estudio los animales fueron alimentados con una ración compuesta de:

- Ensilaje: Correspondiente a la lechería del predio “Vista Alegre”, el cual estuvo compuesto de ballica bianual (*Lolium multiflorum* L) con avena (*Avena strigosa* Schreber), y cosetán incorporado como aditivo a razón de 30 kg/t de materia verde.
- Maíz extruido: Procesado a 90 °C bajo presión de 15 a 20 atmósferas, secado y enfriado a temperatura ambiente hasta alcanzar 12-14% de humedad.
- Maíz molido: Molino de martillo con criba de 2,5 mm de diámetro
- Sales minerales

3.5 Manejo alimentario

Manteniéndose las proporciones de alimentos antes descrita (Cuadro 5), la alimentación de los animales se realizó con un nivel de suministro de aproximadamente un 70-80% del consumo *ad-libitum*, el cual fue establecido en la etapa pre-experimental o de adaptación (Cuadro 7).

Comúnmente las pruebas de digestibilidad se realizan a nivel de mantención, pero como se usaron animales en crecimiento, esta se efectuó a un nivel mayor (70-80% del consumo *ad-libitum*) para no afectar su desarrollo.

Las raciones fueron ofrecidas 3 veces al día, en el horario de 9, 13 y 17 horas y con disponibilidad de agua *ad-libitum*. Las cantidades absolutas de alimentos administrados se presentan en el Cuadro 6.

CUADRO 6 Ración experimental según tratamientos (Base tal cual).

Ración ¹	Animales ²	Maíz extruido	Maíz molido	Ensilaje
ME10	P	0,45 kg	1,34 kg	14 kg
	L	0,38 kg	1,12 kg	12 kg
ME25	P	1,12 kg	0,67 kg	14 kg
	L	0,94 kg	0,56 kg	12 kg
ME40	P	1,79 kg	0 kg	14 kg
	L	1,5 kg	0 kg	12 kg

¹ ME10= Ración con 10% ME y 30% MM, ME25= ración con 25% ME y 15% MM, ME40= ración con sólo 40% ME.

² P= animales categoría pesados (PV= 185 kg) y L= animales categoría livianos (PV= 155 kg)

3.6 Procedimiento

El estudio se encontró dividido en dos etapas, un periodo de adaptación y un periodo de colección, como se describe en el Cuadro 7.

CUADRO 7 Periodo de adaptación y colección.

Días																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Periodo de adaptación														Periodo de colección					
														Muestreos					

3.6.1 Etapa adaptación. Durante esta etapa los animales fueron alimentados con la ración experimental por un periodo de 14 días, con el fin de que estos se acostumbren a la ración experimental y eliminen del tracto digestivo los restos de alimentos de su antigua alimentación. Al comienzo de este periodo se estableció el nivel de alimentación (suministro) que se mantuvo hasta el final del estudio.

Adicionalmente se procedió a ajustar las jaulas metabólicas al tamaño de cada ternero para efectuar en mejor forma la colección de fecas y orina. La colección de orina tuvo por objetivo realizar el análisis de producción de proteína microbiana por el método de las purinas en un estudio paralelo.

3.6.2 Etapa colección. Esta etapa consecutiva a la etapa de adaptación, tuvo una duración de 6 días, en la cual se colectó individualmente y en forma diaria el total de la excreción fecal y urinaria y se registró el consumo, para así realizar los análisis pertinentes a la investigación. Además, se tomaron muestras de los alimentos y los eventuales rechazos producidos registrándose su cantidad.

3.7 Colección y muestreo

Se obtuvieron muestras de fecas limpias, fecas sucias, rechazos y de los alimentos (ensilaje y maíces), cuyo procedimiento se describe a continuación.

3.7.1 Fecas limpias. Las fecas limpias correspondieron a las colectadas en la lámina de plástico la cual se encontraba ubicada en el suelo bajo las patas traseras de cada animal. Esta lámina fue previamente identificada para cada animal y pesada con el fin de poder calcular el peso neto de las fecas.

La colección y muestreo fecal se llevó a cabo según lo descrito en el Cuadro 7, a las 08:00 horas durante todo el periodo de colección. El procedimiento empleado diariamente, consistió en retirar la lamina plástica con fecas y reemplazarla por otra limpia; las fecas recolectadas fueron pesadas en una balanza electrónica con 5 g de sensibilidad y posteriormente homogenizadas manualmente, con guantes de goma, extrayéndose una alícuota correspondiente al 3% del peso total, la cual era guardada en bolsa plástica individual en un congelador.

Al finalizar la etapa de colección todas las muestras fueron descongeladas, juntadas por animal y nuevamente homogenizadas, obteniéndose una submuestra de 150 gramos, en duplicado, para posterior determinación de MS y realización de análisis los químicos correspondientes.

3.7.2 Fecas sucias. Las fecas sucias correspondieron a aquellas retenidas sobre el paño ubicado en la parte superior del contenedor para coleccionar la orina, más restos que quedaban en el piso, rejillas y paredes de las jaulas metabólicas. Estas fecas fueron acumuladas en una bolsa por animal, las cuales se pesaron al final de la etapa de colección, determinándose su contenido de MS en horno a 60 °C. Luego de cuantificadas se eliminaban sin ser analizadas, siendo este registro sumado a las fecas limpias.

3.7.3 Alimentos. Diariamente durante la etapa de colección se muestreó cada uno de los componentes de la ración suministrada a los animales. Estas muestras diarias se acumulaban en una bolsa plástica, identificada para cada alimento. Las muestras de maíces se obtenían directamente del saco, a la hora de pesar el suministro del próximo día, en cantidad aproximada de 100 g. El ensilaje se muestreó cada mañana siendo congelada las muestras diarias.

3.7.4 Rechazos. Aquellos rechazos que eventualmente se presentaron durante la etapa de colección se guardaron en una bolsa identificando el animal, para su posterior análisis químico y determinación de MS en forma individual.

3.8 Análisis de las muestras.

Las muestras obtenidas fueron llevadas al Laboratorio de Nutrición del Instituto de Producción Animal, con el objeto de realizar los análisis químicos correspondientes (Cuadro 8).

CUADRO 8 Análisis químicos y determinaciones realizados a las muestras.

Determinación	Método	Material analizado	Referencia
MS parcial	Horno a 60 °C por 48 horas	Ensilaje, fecas sucias, rechazos	BATEMAN (1970)
MS total	Horno a 105 °C por 12 horas	Ensilaje, fecas limpias, maíces	BATEMAN (1970)
MS tolueno	Destilación por tolueno	Ensilaje	BATEMAN (1970)
MS por liofilización	Mínimo de 72 horas de secado	Fecas limpias	BATEMAN (1970)
Proteína Bruta	Micro Kjeldhal	Ensilaje, fecas limpias, rechazos, maíces	BATEMAN (1970)
Fibra Detergente Ácido (FDA)	Digestión una hora con detergente ácido	Ensilaje, fecas limpias, rechazos, maíces	VAN SOEST (1963)
Fibra Detergente Neutro (FDN)	Digestión una hora con detergente neutro	Ensilaje, fecas limpias, rechazos, maíces	VAN SOEST (1963)
Energía Metabolizable	Regresión sobre valor D	Ensilaje, maíces	GARRIDO y MANN (1981)
N-NH ₃	kjeldhal	Ensilaje	BATEMAN (1970)
pH	Peachimetro	Ensilaje	PLAYNE y McDONALD (1966)
Cenizas	Calcinación a 550 °C	Ensilaje, fecas limpias, maíces,	BATEMAN (1970)

3.9 Determinación de la digestibilidad *in vivo*.

La fórmula general para calcular la digestibilidad aparente de un nutriente o fracción en particular es:

$$\text{Digestibilidad (\%)} = \frac{\text{Nutriente consumido (kg)} - \text{nutriente excretado (kg)}}{\text{Nutriente consumido (kg)}} * 100 \quad (3.1)$$

Mediante esta fórmula se puede calcular separadamente la digestibilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de los alimentos consumidos por el animal.

3.10 Diseño experimental y análisis estadístico.

Para evaluar el efecto de los tratamientos en la digestibilidad aparente de la MS, MO, proteína (PB) y fibra (FDN y FDA) se empleó un diseño estadístico completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos. El modelo estadístico usado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + P_j + MP_{ij} + E_{ijk} \quad (3.2)$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable dependiente o digestibilidad aparente (MS, MO, PB, FDA y FDN)

μ = Media poblacional

M_i = Nivel de inclusión de maíz extruido en la dieta. (10, 25, 40%)

P_j = Categoría de peso de los animales (Livianos y pesados)

MP_{ij} = Interacción entre inclusión de ME y categoría de peso de los animales

E_{ijk} = Error experimental

4 PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1 Composición química de los alimentos y ración experimental

La composición química de cada alimento empleado en la ración experimental se detalla en el Cuadro 9. En el Cuadro 10 se presenta la composición química de las raciones experimentales.

CUADRO 9 Composición química de los alimentos empleados en el estudio (BMS).

Determinación ¹	Maíz extruido	Maíz normal	Ensilaje Ballica-Avena ²	Ensilaje Ballica-Avena ³
MS _H (%)	84,45	84,23	16,64	-
MS _T (%)	-	-	-	20,89
PB (%)	7,83	8,17	14,5	11,55
FDN (%)	8,43	11,98	58,53	46,62
FDA (%)	2,20	2,69	39,30	31,30
pH	-	-	3,85	3,85
N-NH ₃ (% del N total)	-	-	10,78	10,78
EM (Mcal/Kg) ⁴	3,47	3,47	2,49	2,49 ⁵
CT (%)	1,34	1,42	7,12	5,67

¹ MS_H = Materia seca determinada en horno a 105°C; MS_T = Materia seca determinada por destilación de tolueno; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra detergente neutro; FDA = Fibra detergente ácido; N-NH₃ = Nitrogeno amoniacal; EM = Energía metabolizable; CT = Cenizas totales.

² Composición expresada base MS 105 °C

³ Composición expresada base MS tolueno

⁴ A partir del valor D, determinado *in vitro* por la ecuación $EM = 0,0325D + 0,279$ (GARRIDO y MANN, 1981).

⁵ EM base tolueno, no corregida.

La materia seca del ensilaje fue determinada en estufa (60 °C, 105 °C) y por destilación de tolueno (con el fin de poder cuantificar las pérdidas de los compuestos volátiles, tales como ácido acético, butírico, propiónico, etanol, amoníaco y algo de ácido láctico), siendo más exacto este último método para la determinación de MS en este tipo de alimentos. Como los análisis químicos en el ensilaje fueron realizados en muestras secadas en horno, se debió corregir los valores analíticos para expresar la composición en base a MS por tolueno. La MS de los maíces se determinó sólo en horno a 105°C.

Los maíces destacan por su alto contenido de MS y bajo contenido de fibra, al compararlos con el ensilaje de ballica – avena. Se aprecia que la extrusión del grano de maíz produjo una disminución en la concentración de la PB, FDN y FDA respecto del grano molido.

CUADRO 10 Composición química de las raciones experimentales (% BMS).

Ración ¹	Animales ²	PB	FDN	FDA
ME10	P	10,37	34,48	21,49
	L	10,39	34,70	21,67
ME25	P	10,32	34,02	21,42
	L	10,34	34,25	21,60
ME40	P	10,28	33,56	21,35
	L	10,30	33,80	21,53

¹ ME10= Ración con 10% ME y 30% MM, ME25= ración con 25% ME y 15% MM, ME40= ración con sólo 40% ME.

² P = animales categoría pesados (185 kg PV); L = animales categoría livianos (155 kg PV)

Independiente del peso de los animales la composición de las raciones fue prácticamente igual, a pesar que se proporcionaron separadamente para cada categoría de peso (Cuadro 10). En el Cuadro 11 se indica el aporte de alimentos durante la prueba de digestibilidad para los animales, pesados y livianos, quienes recibieron 4,44 y 3,77 kg MS/d, respectivamente.

CUADRO 11 Alimentos suministrados por tratamiento y categoría de peso (kg MS/d).

Ración ¹	Animales ²	Ensilaje	Maíz molido	Maíz extruido
ME10	P	2,92	1,14	0,38
	L	2,51	0,94	0,32
ME25	P	2,92	0,57	0,95
	L	2,51	0,47	0,79
ME40	P	2,92	0	1,52
	L	2,51	0	1,27

¹ ME10= Ración con 10% ME y 30% MM, ME25= ración con 25% ME y 15% MM, ME40= ración con sólo 40% ME.

² P= animales categoría pesados (185 kg PV); L= animales categoría livianos (155 kg PV)

4.2 Resultados de digestibilidad aparente

En los Cuadros 12 y 13, se presenta la digestibilidad de la MS, MO, PB y fibra (FDN y FDA) de las tres raciones experimentales, respectivamente. El efecto de la categoría de peso de los animales (pesados y livianos) sobre las variables de digestibilidad se presenta en el Cuadro 14.

Los valores corresponden a la digestibilidad aparente medida en el tracto digestivo total, resultante de recolectar toda la excreción fecal de los animales. Ello significa que además de restos indigeridos de alimentos, las fecas contienen aportes del organismo, tales como células del epitelio intestinal,

microorganismos y secreciones del tubo digestivo, que en conjunto constituyen la fracción metabólica fecal (FMF), de ahí la denominación de digestibilidad aparente.

CUADRO 12 Efecto del nivel de inclusión de maíz extruido en la ración sobre la digestibilidad aparente de la MS, MO y PB.

	Ración ¹			Significancia ²
	ME10	ME25	ME40	
Consumo (kg/d)				
MS	4,09 ± 0,37	4,11 ± 0,39	3,98 ± 0,57	-
MO	3,92 ± 0,36	3,93 ± 0,37	3,81 ± 0,56	-
PB	0,43 ± 0,04	0,42 ± 0,04	0,42 ± 0,04	-
Excreción Fecal (kg/d)				
MS	1,07 ± 0,05	1,08 ± 0,08	0,98 ± 0,15	-
MO	0,97 ± 0,05	0,98 ± 0,07	0,87 ± 0,16	-
PB	0,18 ± 0,01	0,19 ± 0,02	0,18 ± 0,03	-
Digestibilidad Aparente (%)				
MS	73,71 ± 1,64	73,60 ± 2,18	75,48 ± 1,85	ns
MO	75,30 ± 1,41	75,12 ± 1,99	77,13 ± 1,82	ns
PB	56,67 ± 5,11	55,13 ± 5,03	58,65 ± 4,42	ns

¹ ME10= Ración con 10% ME y 30% MM, ME25= ración con 25% ME y 15% MM, ME40= ración con sólo 40% ME.

² ns (P > 0,05).

4.2.1 Digestibilidad aparente de la MS, MO y PB. Se aprecia que la digestibilidad de la MS, MO y PB (Cuadro 12) no difirió entre las raciones (P > 0,05), no presentándose efectos del consumo creciente de maíz extruido sobre la digestibilidad de estas dos variables.

Tampoco se observaron diferencias significativas de digestibilidad (DMS, DMO y DPB) entre los terneros livianos y pesados (P > 0,05).

CUADRO 13 Efecto del nivel de inclusión de maíz extruido en la ración sobre la digestibilidad de la fibra (FDN y FDA).

	Ración ¹			Significancia ²
	ME10	ME25	ME40	
Consumo (kg/d)				
FDN	1,42 ± 0.13	1,36 ± 0.13	1,38 ± 0.12	-
FDA	0,89 ± 0.08	0,87 ± 0.08	0,88 ± 0.08	-
Excreción fecal (kg/d)				
FDN	0,41 ± 0,05	0,48 ± 0,02	0,47 ± 0.09	-
FDA	0,27 ± 0,02	0,31 ± 0,02	0,30 ± 0.06	-
Digestibilidad Aparente (%)				
FDN	71,01 ± 5,39	65,28 ± 3,35	66,07 ± 4,06	ns
FDA	68,83 ± 4,29	64,45 ± 3,24	66,43 ± 4,42	ns

¹ ME10= Ración con 10% maíz extruido y 30% maíz molido, ME25= ración con 25% maíz extruido y 15% maíz molido, ME40= ración con sólo 40% maíz extruido

² ns (no significativo, P> 0,05).

4.2.2 Digestibilidad de la fibra (FDN y FDA). Los resultados para la digestibilidad de la fibra (FDN y FDA) se presentan en el Cuadro 13.

Se puede apreciar que el nivel de suministro de maíz extruido no causó efectos sobre digestibilidad de la fibra ($P > 0,05$). Sin embargo, a pesar que los resultados son estadísticamente iguales, se pudo notar que existió una tendencia en disminuir la digestibilidad de la fibra que fue más marcada para FDN ($P = 0.10$) que para FDA ($P = 0.25$) a partir de un 25% de inclusión de ME en la dieta (Figura 7).

Como se observó en el resto de las fracciones, tampoco hubo efecto de la categoría de peso de los animales sobre la digestibilidad de la fibra ($P > 0,05$), (Cuadro 14).

CUADRO 14 Efecto de la categoría de peso sobre las variables de digestibilidad de la ración.

Variable ¹	Animales		Significancia ²
	Pesados	Livianos	
DMS ¹	74,9 ± 1,07	73,7 ± 2,51	ns
DMO ²	76,4 ± 1,07	75,3 ± 2,39	ns
DPB ³	57,6 ± 2,96	56,1 ± 5,71	ns
DFDN ⁴	68,4 ± 5,57	66,5 ± 3,13	ns
DFDA ⁵	67,6 ± 4,95	65,5 ± 3,04	ns

¹ DMS= digestibilidad aparente de la MS, DMO= digestibilidad aparente de la MO, DPB= digestibilidad aparente de la PB, DFDN= digestibilidad de la FDN y DFDA= digestibilidad de la FDA.

² ns (P> 0,05).

5 DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 Composición química de los alimentos

El contenido de MS tolueno del ensilaje en relación a MS horno 105 °C es concordante con lo encontrado en otros estudios, existiendo una diferencia de 3 – 4 unidades porcentuales, entre ambas determinaciones, siendo más altos los contenidos de MS basados en destilación por tolueno, concordando con lo obtenido por MOREIRA (1995).

La composición del maíz molido fue comparada con la tabla de composición de alimentos para el ganado en la zona sur observándose valores similares a los registrados en esta publicación (ANRIQUE *et al.*, 1995) .

Los valores de FDN del grano de maíz molido (11,98%) están en el rango (10-12%) planteado por BONDI (1988). Sin embargo el maíz extruido presentó un menor contenido de FDN que el maíz molido (Cuadro 10), con valores entre un 8 y 9%, lo que puede atribuirse a efectos del tratamiento térmico sobre componentes de la fracción fibrosa¹.

El bajo contenido de proteína presente en los granos de maíz analizados concuerda con los rangos encontrados en la literatura, la que puede fluctuar entre 8 y 10% (LATHAN, 2002) con un promedio de 9,1% (ARGENTINA, SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANDERIA, PESCA Y ALIMENTOS (SAGPyA), 2001).

¹ Alvarado, C (2005). Ingeniero Agrónomo. Comunicación personal

El ensilaje de ballica - avena presentó un bajo contenido de MS, característico de un ensilaje directo. Su composición demuestra que es un ensilaje de una buena calidad nutricional, asociado a sus valores de EM y PB, aunque su contenido nitrógeno amoniacal (N-NH₃) es superior al 8%, lo que estaría indicando una calidad fermentativa regular (ANRIQUE *et al.*, 1995).

El contenido de proteína de las raciones, así como su composición química (Cuadro 10) no es limitante para una expresión normal de digestibilidad, al encontrarse sobre los mínimos para un adecuado funcionamiento de la fermentación ruminal.

Por tratarse de una ración con una alta proporción de forraje (60% BMS), el suministro restringido que se empleó (70-80 % del consumo *ad-libitum*), no debiera esperarse que haya tenido efecto sobre la digestibilidad. Normalmente una restricción fuerte del consumo, por ejemplo a nivel de mantención, puede estar asociada con niveles de digestibilidad más altos y niveles de consumo elevados se asocian con valores de digestibilidad más bajos, especialmente si el nivel de forraje de la ración y el tamaño de las partículas son reducidos.

5.2 Digestibilidad aparente de la MS y MO.

La similitud estadística en los valores de digestibilidad de la MS y MO obtenidos a niveles crecientes de maíz extruido (Figura 6) es concordante con otros estudios realizados con vacas lactantes. Al respecto SHABI *et al.* (1999), quienes reemplazaron la mitad del maíz molido por extruido en una ración con 40% de aporte de maíz, reportaron que no hubo efecto del método de procesamiento por extrusión sobre la digestibilidad de la MS en vacas lecheras. No obstante GAEBE *et al.* (1998), en ganado de engorda obtuvieron una mayor digestibilidad de la MS (5 unidades porcentuales) cuando se alimentó con grano extruido (maíz o sorgo) en una proporción mucho más alta (78.6% de la ración BMS), al compararlo con maíz rolado en seco.

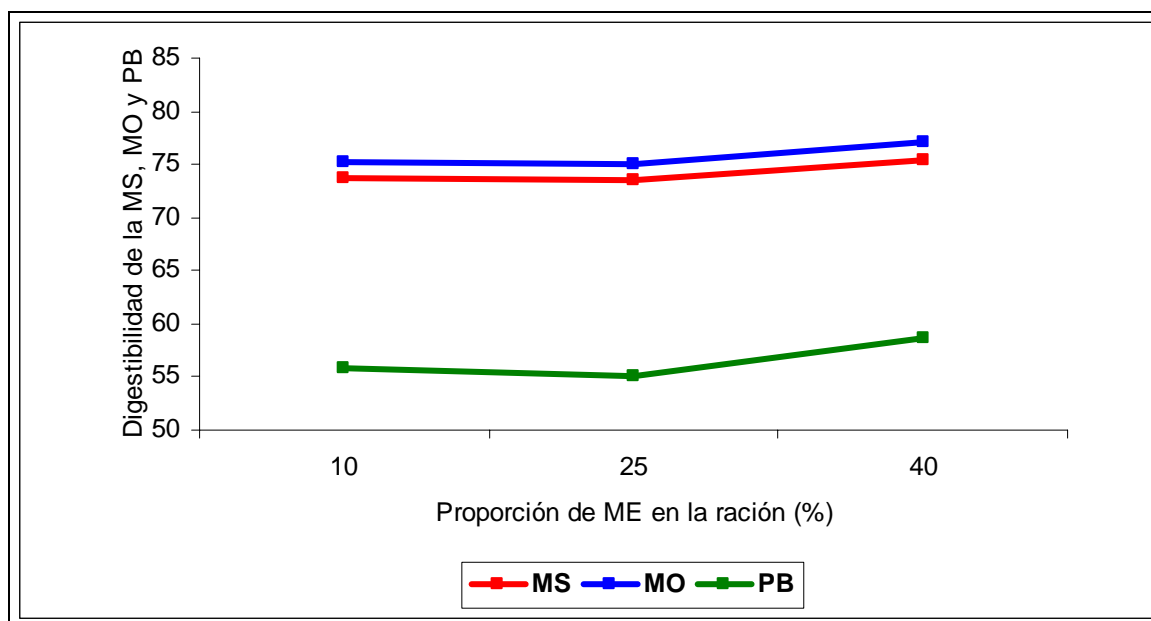


FIGURA 4 Relación entre nivel de maíz extruido en la ración y la digestibilidad aparente de la MS, MO y PB.

Al revisar el efecto de otros métodos de procesamiento sobre la DMS y DMO aparecen estudios donde se ha comparado maíz rolado en seco con laminado al vapor. CROCKER *et al.* (1998), no observaron diferencias significativas en la digestibilidad de la MS y MO, cuando el nivel de inclusión del grano en la ración fue de un 27% BMS. JOY *et al.* (1997), quienes incluyeron en la dieta un 24% BMS de maíz, observaron una mayor digestibilidad de la MO para la ración con maíz laminado al vapor de una densidad de 0.31kg/L que para maíz laminado al vapor con una densidad de 0.39 kg/L, sugiriendo que con maíces procesados mas intensamente puede aumentar la digestibilidad de la MO de la ración.

En granos que son procesados, con el fin de obtener una mayor degradabilidad ruminal de almidón, se debería esperar una mayor digestibilidad de la MO cuando son suministrado solos, no obstante CROCKER *et al.* (1998),

señalan que cuando se combinan granos procesados de mayor degradabilidad con granos de menor degradabilidad se puede obtener un efecto asociativo positivo para la digestibilidad de la MO. Sin embargo en este estudio en las raciones donde se combinó maíz extruido con maíz molido no se apreció este efecto.

Es posible deducir de varios autores como SHABI *et al.* (1999), GAEBE *et al.* (1998), JOY *et al.* (1997), CROCKER *et al.* (1998) y DEW *et al.* (2002), que cuando se suministra grano de maíz procesado ya sea rolado en seco, laminado al vapor o extruido a rumiantes en proporciones mayores al 78% BMS de la ración, la digestibilidad de la MS y MO aumentaría; y que si el nivel de inclusión es menor a un 40% BMS no debiera esperarse efectos del procesamiento del maíz sobre la digestibilidad de la MS y MO de la dieta.

5.3 Digestibilidad aparente de la proteína.

La ausencia de diferencias en las tres raciones experimentales sobre la digestibilidad de la proteína en el tracto digestivo total concuerda con JOY *et al.* (1997); CROCKER *et al.*, (1998); SHABI *et al.* (1999) y DEW *et al.* (2002), quienes demostraron en sus respectivos estudios que diferentes métodos de procesamiento del grano del maíz, los que pueden ir desde molido, rolado seco, laminado al vapor y extruido, no causan diferencias en la digestibilidad de la proteína de la ración.

Sin embargo las diferencias en la digestibilidad de la proteína se pueden presentar en tramos específicos del tracto digestivo. SHABI *et al.* (1999) señalan que la digestión postruminal de la proteína no es afectada por la presencia de maíz extruido en la dieta, aunque aumenta linealmente cuando la proporción de maíz rolado disminuye en la dieta y es reemplazado por laminado al vapor, el cual presenta mayor disponibilidad ruminal de carbohidratos (CROCKER *et al.*, 1998). Pero JOY *et al.* (1997) y DEW *et al.* (2002), quienes

en sus respectivas investigaciones evaluaron granos de maíz rolado en seco y laminado al vapor de dos densidades, no encontraron diferencias en la digestión postruminal del nitrógeno. ZINN (1990) observó que cuando la densidad de las hojuelas de maíz disminuye desde 0,42 a 0,30 kg/L la digestión postruminal del N aumenta.

Los carbohidratos que son rápidamente fermentables son mas efectivos en promover el crecimiento bacteriano en el rumen que otros carbohidratos de fermentación lenta, como la celulosa, demostrándose que su rápida fermentación disminuye la concentración de N amoniacal por un mejoramiento en el metabolismo del N por los microbios ruminales (BACH, 2005), por lo que al aumentar la disponibilidad ruminal del almidón se estaría suponiendo un mayor crecimiento microbiano (FIRKINS *et al.*, 2001).

Reynold *et al.* (1997) y Theurer *et al.* (1999), citados por FIRKINS *et al.* (2001), notaron que aumentando la degradabilidad ruminal del almidón por procesamiento se aumenta el flujo de N microbiano al duodeno, como consecuencia de la rápida disponibilidad de energía proveniente de la fermentación del almidón (HUNTINGTON, 1997). Lo mismo obtuvieron CROCKER *et al.* (1998), cuando la cantidad de maíz rolado en seco disminuía en la dieta y era reemplazado por laminado al vapor. Sin embargo DEW *et al.* (2002) y JOY *et al.* (1997), no observaron este efecto en sus respectivos estudios con grano de maíz rolado en seco y laminado al vapor. SHABI *et al.* (1999), quienes reemplazaron maíz molido por maíz extruido en su ración experimental, tampoco observaron un aumento en el flujo de proteína microbiana al duodeno.

5.4 Digestibilidad de la Fibra (FDN y FDA).

Los resultados del presente estudio concuerdan con SHABI *et al.* (1999), quienes no encontraron efectos de la extrusión del maíz sobre la digestibilidad de la fibra. Sin embargo GAEBE *et al.* (1998), observaron que el suministro de maíz y sorgo extruido redujo la digestibilidad de la FDN y FDA en un 23% y 30% respectivamente, al comparar con grano rolado en seco, a nivel de inclusión de 78.6% BMS en raciones de engorda.

La tendencia observada en el presente estudio, a que se reduzca la digestibilidad de la fibra, fue más clara y de mayor significancia en el caso de la FDN (Figura 7; Cuadro 14), lo que se puede atribuir a que la suplementación con maíz extruido, al aumentar la tasa de degradación del almidón, ejercería una reducción del pH ruminal (MARTIN *et al.*, 1999). JOY *et al.* (1997), al comparar maíz rolado en seco con laminado al vapor, observaron que la digestibilidad de la FDN se reducía al suministrar maíz laminado al vapor, lo que sugiere que es posible esperar un efecto de granos procesados más intensamente sobre la digestibilidad de la fibra, la cual indudablemente dependerá del nivel de inclusión en la dieta.

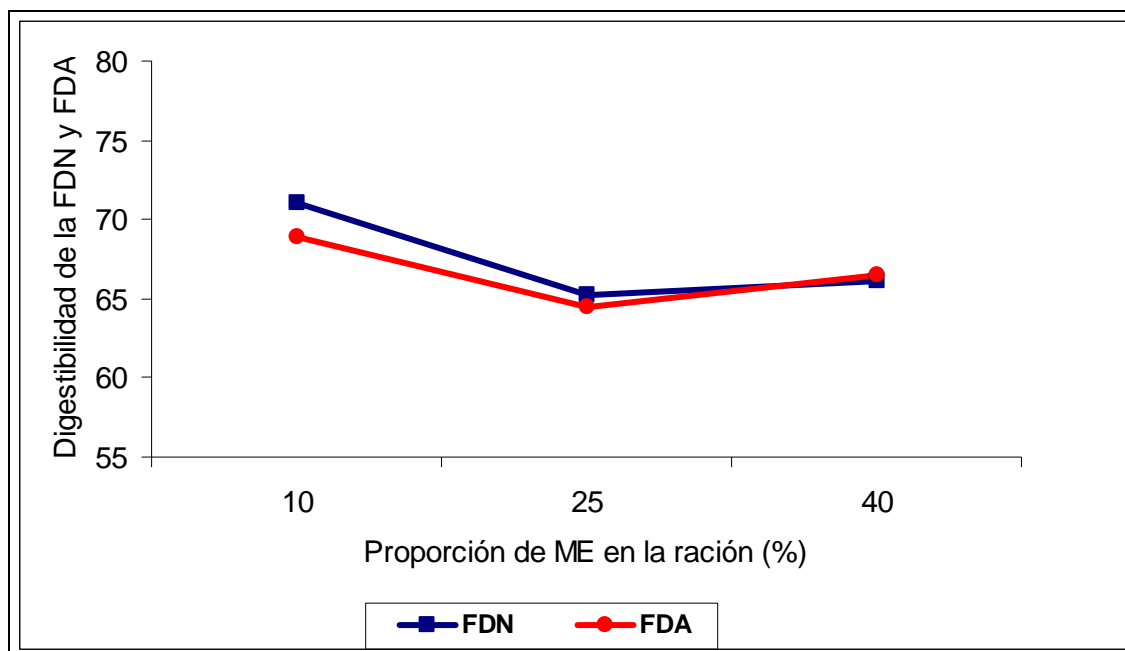


FIGURA 5 Relación entre la digestibilidad de la fibra (FDN y FDA) y el nivel de maíz extruido en la ración.

Al respecto, HOOVER (1986) señala que al combinar carbohidratos de lenta degradación con rápidamente degradables a nivel ruminal se podría provocar una inhibición inicial en la digestión de la celulosa, lo que podría explicar la tendencia a disminuir la digestibilidad de la FDN en la ración con 25% de inclusión de maíz extruido. CROCKER *et al.* (1998), también encontraron los mismos efectos sobre la digestibilidad de la fibra al combinar en la dieta maíz rolado seco con maíz laminado al vapor.

ØRSKOV (1990) indica que la digestibilidad de la fibra, especialmente de la celulosa, no se verá deprimida en una ración donde el aporte de concentrado sea como máximo un 50% de la ración. Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, ya que el nivel de inclusión de maíz (concentrado) fue de 40% en la ración.

Es conocido que el pH ruminal adecuado para la digestión de la fibra se encuentra alrededor de 6,5 (ORSKOV, 1986; KRAUSE *et al.*, 2002). Por lo tanto, dietas con altas concentraciones de carbohidratos rápidamente fermentables pueden afectar negativamente la fermentación ruminal, causando que el pH ruminal decline bajo 6.0 (KRAUSE *et al.*, 2002), lo que implicaría una reducción en la magnitud y velocidad de digestión de la fibra (BLASS, 1995). Esto fue demostrado por GAEBE *et al.* (1998), empleando novillos de engorda, señalaron que con maíz extruido el pH ruminal era menor en comparación con maíz rolado seco, con valores bajo 5,0 por un tiempo considerable, a lo que atribuyeron la disminución en la digestibilidad de la fibra. No obstante en el estudio de SHABI *et al.* (1999), con vacas lecheras, no se encontró efecto del suministro de maíz extruido sobre el pH ruminal, el cual se encontró sobre 6,0.

6 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este estudio es posible concluir lo siguiente:

- La digestibilidad de la MS, MO y PB no fue afectada por el suministro de maíz extruido en reemplazo de maíz molido hasta un nivel de 40% de la ración, constituidas además por ensilaje.
- El consumo creciente de maíz extruido no afectó la digestibilidad de la fibra (FDN y FDA), no obstante se observó una tendencia a depresión en la digestibilidad de la FDN con niveles de maíz extruido mayores a 25% de la ración, siendo la digestibilidad de la FDA menos influida.

7 RESUMEN

El objetivo propuesto en este estudio fue evaluar el efecto del nivel de inclusión de maíz extruido en la dieta sobre la digestibilidad aparente de la MS, PB y fibra (FDN y FDA). Se estableció como hipótesis que al aumentar el consumo de maíz extruido se reduzca la digestibilidad de la fibra y de la ración total.

Se emplearon 12 novillos jóvenes, agrupados en dos categorías de peso (livianos y pesados), en un ensayo de digestibilidad *in vivo*, realizado en jaulas metabólicas. Se establecieron tres raciones experimentales que estuvieron definidas por el nivel de inclusión de maíz extruido, a consumos crecientes, en combinación de maíz molido, de manera que en cada ración representó 40% y la diferencia (60%) fue aportada por ensilaje de Ballica – Avena. La primera ración (ME10) estuvo compuesta por 10% de maíz extruido y 30% de maíz molido, la segunda (ME25) por un 25% de maíz extruido y 15% de maíz molido y la tercera (ME40) por 40% de maíz extruido. La alimentación se suministró a un nivel de 80% del consumo *ad-libitum*, tres veces al día en horarios definidos de las 9, 13 y 17 h.

Para evaluar los resultados se empleó un diseño estadístico completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos, con tres raciones experimentales y dos categorías de peso.

Los resultados de digestibilidad de la MS, MO, PB y fibra (FDN y FDA) no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo fue posible notar una tendencia a disminuir la digestibilidad de la fibra, que fue más marcada para FDN ($P = 0.10$) que FDA ($P = 0.25$) a partir de 25% de inclusión de maíz extruido.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of level of inclusion of extruded corn on total tract apparent digestibility of DM, OM, CP and Fibre (NDF and ADF) of the ration. It was hypothesized that increasing the intake of extruded corn would result in a reduced digestibility of fibre and of the total ration.

Twelve young steers, grouped in two liveweight categories (heavy and light), were used in an *in vivo* digestibility trial. Three experimental rations were established according to the level of extruded corn in the diet, supplied at increasing levels combined with ground corn so that each ration contained 40% of total corn, and the remainder of the ration (60%) corresponded to rye grass-oat silage. The rations were (ME10) including 10% extruded corn and 30% ground corn; ME25 including 25% extruded corn and 15% ground corn, and ME40 including 40% extruded corn. Animals were fed three times per day at 9:00, 13:00 and 17:00 h, at 70- 80% *ad-libitum* intake.

The results were evaluated using a completely randomized design with factorial arrangement of the treatments, for three experimental rations and two live weight categories

The digestibility of DM, OM, CP and fibre (NDF and ADF) showed no significant differences between treatments ($P > 0.05$). However, a tendency towards decreasing NDF ($P < 0.10$) and ADF ($P < 0.25$) digestibility was observed as extruded corn inclusion included at a level of over 25%.

8 BIBLIOGRAFIA

- ALOMAR, D y PULIDO, R. 2001. Efecto del hojuelado al vapor sobre la degradabilidad ruminal del grano de maíz. *Agro Sur. Chile.* 29 (2): 164-169.
- ANRIQUE, R; VALDERRAMA, X y FUCHSLOCHER, R. 1995. Tabla de composición de los alimentos para el ganado en la zona sur. Valdivia – Chile. UACH – FIA. 56p.
- BACH, A; CALSAMIGLIA, S y STERN, M. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science* 88(E. Suppl.):E9-E21.
- BACH, A. 2002. Trastornos ruminales en el vacuno lechero: Un enfoque práctico. XVIII curso de especialización FEDNA. (On Line) <www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/2002CAP_VII.pdf> -> (25 Jun 2005).
- BATEMAN, J. 1970. *Nutrición animal: Manual de métodos analíticos.* Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el desarrollo Internacional. Mexico. Programex. 468p.
- BLASS, C; REBOLLAR, P y MENDEZ, J. 1995. Utilización de cereales en dietas de vacuno lechero. XI curso de especialización FEDNA. (On Line) <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/95CAP_III.pdf> (25 Jun 2005).
- BONDI, A. 1988. *Nutrición animal.* Zaragoza. España. Acribia S.A. . 546 p.

- BRAUN, R. 2001. Utilización de grano de sorgo tratado por procesos hidrotérmicos en dietas destinadas al crecimiento y engorde de cerdos. (On Line) <<http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/viencuent/braun.htm>> (13 Mayo 2005).
- BUXADE, C. 1994. Zootecnia. Bases de producción animal. Tomo II. Reproducción y alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 344 p.
- CAMPS, D y GONZALES, G. 2005. Métodos de Procesamiento de granos para ganado de feedlot. (On Line) <http://www.nutrihelpanimal.com.ar/BOVINOS_CARNE/tex_pub42.htm> (20 de ene 2005).
- COOPER, R; MILTON, C; KLOPFENSTEIN, T; SCOTT, T; WILSON, C y MASS, R. 2002. Effect of corn processing on starch digestion and bacterial crude protein flow in finishing cattle. *Journal of Animal Science* 80: 797-804.
- CROCKER, L; DePETERS, E; FADEL, J; PEREZ-MONTI, H; TAYLOR, J; WYCKOFF, J y ZINN, R. 1998. Influence of Processed Corn Grain in Diets of Dairy Cows on Digestion of Nutrients and Milk Composition. *Journal of Dairy Science* 81(9): 2394–2407
- DEW, P; BROWN, M; COLE, N y DRAGER, C. 2002. Effects of degree of corn processing on site and extent of digestión by beef steers. *Beef Cattle Research in Texas*. pp 44-49.

- FIRKINS, J., EASTRIDGE, M., ST-PIERRE, N y NOFTSGER, S. 2001. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science*. 79 (E. Suppl.):E218–E238
- GAEBE, R; SANSON, D; RUSH, I; RILEY, M; HIXON, D y PAISLEY, S. 1998. Effects of extruded corn or grain sorghum on intake, digestibility, weight, and carcasses of finishing steers. *Journal of Animal Science* 76:2001-2007.
- GARNSWORTHY, P y COLE, D. 1996. Recent developments in ruminant nutrition 3. optimizing compound feed use in dairy cows with high intake of silage. Pp 245-263.
- GARRIDO, O y MANN, E. 1981. Composición química, digestibilidad y valor energético de una pradera permanente de pastoreo a través del año. Tesis licenciado en agronomía. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 59 p.
- GUADA, J. 1993. Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de la proteína y almidón. IX curso de especialización FEDNA (On Line) < www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP_2.pdf > (17 feb 2005).
- HOOVER, W. 1986. Chemical factor involved in ruminal fiber digestion. *Journal of Dairy Science*. 69: 2755-1266.
- HUNTINGTON, G. 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of Animal Science* 75:852-867.

- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS (INE). 2005. (On Line)
<[http://www.ine.cl/noticias/xls/cultivossuperficie\(09-07-04\).xls](http://www.ine.cl/noticias/xls/cultivossuperficie(09-07-04).xls)> (28 May 2005).
- JOY M; DePETERS, E; FADEL, J y ZINN, R. Effects of corn processing on the site and extent of digestion in lactating cows. *Journal of Dairy Science*. 80:2087-2097.
- KRAUSE, K.M., COMBS, D.K y BEAUCHEMIN, K.A. 2002. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. Milk production and diet digestibility. *Journal of Dairy Science*. 85 (8): 1936–1946
- LARDY, G. 2002. Feeding corn to beef cattle. (On Line)
<www.ext.nodak.edu/extpubs/ansci/beef/as1238w.htm - 18k> (21 ene 2005).
- LATHAM, M. 2002. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos. (OnLine)<http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/W0073S/w0073s0u.htm> (17 mayo 2005).
- MARTINIC, C; PHILIPPEAU, C y MICHALET-DOREAU, B. 1999. Effect of wheat and corn variety on fiber digestion in beef steers fed high grain diet. *Journal of Animal Science*. 77: 2269-2278.
- McDONALD, P; EDWARDS, R Y GREENHALG, J. 1999. *Nutrición animal*. Zaragoza. España. Acribia. 553 p.

- MILLER, W. 1979. Dairy cattle feeding and nutrition. USA. Accademic press. 411 p.
- MOREIRA, V. 1995. Predicción de la digestibilidad y energía (EM, ED) in vivo de ensilajes de praderas permanentes en tres estados fonológicos, a partir de parámetros químicos y biológicos. Tesis M.Cs. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 123p.
- ORSKOV, E. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. Journal of Animal Science 63: 1624-1633.
- ORSKOV, E. 1990. Nutrición de los rumiantes: Principios y practicas. Traducido por Manuel Ramis. Zaragoza- España. Acribia. 119p.
- OWENS, F; SECRIST, D; HILL, W y GILL, D. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: A review. Journal of Animal Science. 75: 868-879.
- OWENS, F; ZINN, R y KIM, Y. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. Journal of Animal Science 63: 1634-1648.
- OWENS, F y ZINN, R. 2005. Corn grain for cattle: Influence of processing on site and extent of digestion. Proc. Southwest Nutrition. Conf . : 86-112.
- PASSINI, R; OLIVEIRA, L; ALTIERI, F y HENRIQUE MAZZA P. 2004. Degradabilidade no rúmen bovino de grãos de milho processados de diferentes formas. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 39 (3):

- PLAYNE, A y McDONALD, P. 1966. The buffering constituents of herbage and silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 17:264 – 268.
- POND, W; CHURCH, D y POND, K. 2002. Fundamentos de nutrición y alimentación de los animales. Mexico. Limusa S.A. 635p
- RIPOLL, A. 1999. El proceso de extrusión en cereales y habas de soja. Experiencias prácticas. IX curso de especialización FEDNA (On line) <http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/76-extrusion_en_cereales_y_soja_II.htm> (3 jun 2005)
- ROONEY, L y PLUGFELDER, R. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science* 63: 1607-1623.
- ROWE, J., CHOCT, M y PETHICK, D. 1999. Processing cereal grains for animal feeding. *Australian Journal of Agricultural Research*. 50: 721-736.
- RYMER, C. 2000. The measurement of forage digestibility *in vivo*. In: *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. CABI. England. pp 113 – 134.
- ARGENTINA, SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANDERIA, PESCA Y ALIMENTOS. 2001. Aceite de maíz. Composición del grano de maíz. (On Line) <<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/prensa/publicaciones/aceite%20de%20maiz/composicion.PDF>> (18 Agosto 2005).

- SHABI, Z., BRUCKENTAL, I., ZAMWELL, S., TAGARI, H y ARIELI, A. 1999. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 82 (6): 1252-1260
- THEURER, C; HUBER, J; DEELGADO-ELORDUY, A y WANDERLEY, R. 1999. Invited review: Summary of steam flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82 :1950-1959.
- THEURER, C. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science* 63: 1649-1662.
- THOMPSON, M. 1998. Suplementación de vacas lecheras alimentadas con dietas en base a ensilaje de pradera con fuentes de almidon de distinta degradabilidad ruminal. Tesis Licenciada en Medicina Veterinaria. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias veterinarias. 52 p.
- VAN SOEST, P. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of AOAC International*. 46:829 - 835.
- ZINN, R; OWENS, F y WARE, R. 2002. Flaking corn: Processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 80:1145-1156.

ANEXOS

ANEXO 1 Colección diaria de fecas limpias (base tal cual).

Tratamiento	Categoría de peso	Producción fecal (kg/d)						Total(kg)
		1	2	3	4	5	6	
ME10	P	7,13	6,65	5,56	3,93	6,51	6,33	36,10
	P	5,62	6,36	7,32	5,94	7,93	6,52	39,68
	L	5,04	6,07	4,47	4,61	4,04	6,28	30,50
	L	5,16	5,32	4,90	6,24	4,27	4,23	30,10
ME25	P	6,85	6,57	6,63	3,55	5,71	5,3	34,62
	P	7,68	7,19	6,03	3,89	5,88	6,87	37,55
	L	3,78	5,02	4,72	4,95	4,09	4,85	27,41
	L	5,55	6,28	4,82	6,55	6,7	8,06	37,97
ME40	P	6,83	6,4	6,39	3,73	5,6	6,75	35,70
	P	6,42	6,93	6,31	3,48	7,63	6,66	37,43
	L	5,23	6,18	4,61	5,81	2,8	2,18	26,81
	L	6,17	5,45	5,02	4,42	5,09	4,43	30,57

P = Animales pesados

L = Animales livianos

ANEXO 2 Producción total de fecas (kgMS).

Tratamiento	Categoría de peso	Fecas limpias (kg)			Fecas sucias (kg)			Total fecas (kg MS)
		Base tal cual	% MS	Base MS	Base tal cual	% MS	Base MS	
ME10	P	36,10	17,91	6,47	0,41	24	0,0984	6,56
	P	39,68	16,77	6,66	0,195	29,3	0,0572	6,71
	L	30,50	20,57	6,27	0,605	26,0	0,1573	6,43
	L	30,10	19,04	5,73	1,340	22,0	0,2948	6,02
ME25	P	34,62	19,37	6,70	0,570	22,7	0,1292	6,83
	P	37,55	17,40	6,53	0,225	26,0	0,0585	6,59
	L	27,41	20,44	5,60	0,820	24,7	0,2023	5,80
	L	37,97	17,59	6,68	0,055	33,3	0,0183	6,70
ME40	P	35,70	19,35	6,91	1,150	20,0	0,230	7,14
	P	37,43	16,43	6,15	0,610	24,7	0,1505	6,30
	L	26,81	18,22	4,88	0,245	22,0	0,0539	4,94
	L	30,57	16,31	4,99	0,275	31,3	0,0862	5,07

P = Animales pesados

L = Animales livianos

ANEXO 3 Composición química de las fecas (% BMS).

Tratamiento	Categoría de peso	MS *	CT	PB	FDN	FDA
ME10	P	17,91	9,50	16,21	32,06	22,18
	P	16,77	9,78	17,03	40,46	26,12
	L	20,57	10,53	18,45	36,35	25,33
	L	19,04	10,19	16,76	43,99	28,81
ME25	P	19,37	9,68	16,97	45,21	29,84
	P	17,40	9,60	18,99	42,26	27
	L	20,44	9,46	16,21	50,36	31
	L	17,59	10,07	18,06	42,13	28,11
ME40	P	19,35	10,42	17,49	49,95	31,87
	P	16,43	11,36	18,07	46,05	28,32
	L	18,22	10,73	18,36	47,43	29,67
	L	16,31	10,90	18,14	49,56	31,65

MS* = Materia seca por liofilización

CT = Cenizas totales

PB = Proteína bruta

FDN = Fibra detergente neutro

FDA = Fibra detergente ácido

P = Animales pesados

L = Animales livianos

ANEXO 4 Consumo diario por animal de MS, MO, PB, FDN y FDA (kg/d).

Tratamiento	Categoría de peso	MS	MO	PB	FDN	FDA
ME10	P	4,44	4,28	0,46	1,53	0,95
	P	4,39	4,22	0,46	1,53	0,95
	L	3,77	3,63	0,39	1,31	0,82
	L	3,77	3,63	0,39	1,31	0,82
ME25	P	4,44	4,28	0,34	1,51	0,95
	P	4,44	4,28	0,46	1,51	0,95
	L	3,77	3,63	0,39	1,29	0,81
	L	3,77	3,63	0,39	1,29	0,81
ME40	P	4,44	4,28	0,46	1,49	0,95
	P	4,44	4,28	0,46	1,49	0,95
	L	3,27	3,13	0,39	1,28	0,81
	L	3,75	3,61	0,39	1,28	0,81

MS = Materia seca determinada en estufa (60 °C y 105 °C)

CT = Cenizas totales

MO = Materia orgánica

FDN = Fibra detergente neutro

FDA = Fibra detergente ácido

P = Animales pesados

L = Animales livianos

ANEXO 5 Excreción diaria por animal (kg/d).

Tratamiento	Categoría de peso	MS	MO	PB	FDN	FDA
ME10	P	1,09	0,99	0,18	0,35	0,24
	P	1,12	1,01	0,19	0,45	0,29
	L	1,07	0,96	0,20	0,39	0,27
	L	1,00	0,90	0,17	0,44	0,29
ME25	P	1,14	1,03	0,19	0,51	0,34
	P	1,10	0,99	0,21	0,46	0,30
	L	0,97	0,88	0,16	0,49	0,30
	L	1,12	1,00	0,20	0,47	0,31
ME40	P	1,19	1,07	0,21	0,59	0,38
	P	1,05	0,93	0,19	0,48	0,30
	L	0,82	0,73	0,15	0,39	0,24
	L	0,85	0,75	0,15	0,42	0,27

MS = Materia seca

CT = Cenizas totales

MO = Materia orgánica

FDN = Fibra detergente neutro

FDA = Fibra detergente ácido

P = Animales pesados

L = Animales livianos

ANEXO 6 Digestibilidad de las raciones experimentales (% BMS).

Tratamiento	Categoría de peso	DMS	DMO	DPB	DFDN	DFDA
ME10	P	75,37	76,85	61,49	77,10	74,57
	P	74,51	76,10	58,62	70,45	69,38
	L	71,58	73,58	49,52	70,23	66,77
	L	73,37	75,15	57,04	66,25	64,60
ME25	P	74,37	75,95	42,78	62,24	62,88
	P	75,28	76,79	54,52	69,30	68,84
	L	74,36	75,87	59,82	62,30	63,19
	L	70,39	72,33	48,33	63,60	61,48
ME40	P	73,23	75,09	54,45	60,16	60,04
	P	76,38	78,25	58,48	67,59	68,67
	L	74,82	76,50	61,13	69,40	69,95
	L	77,48	79,14	60,54	67,14	67,06

DMS = Digestibilidad aparente de la MS

DMO = Digestibilidad aparente de la MO

DPB = Digestibilidad aparente de la PB

DFDN = Digestibilidad de la FDN

DFDA = Digestibilidad de la FDA

P = Animales pesados

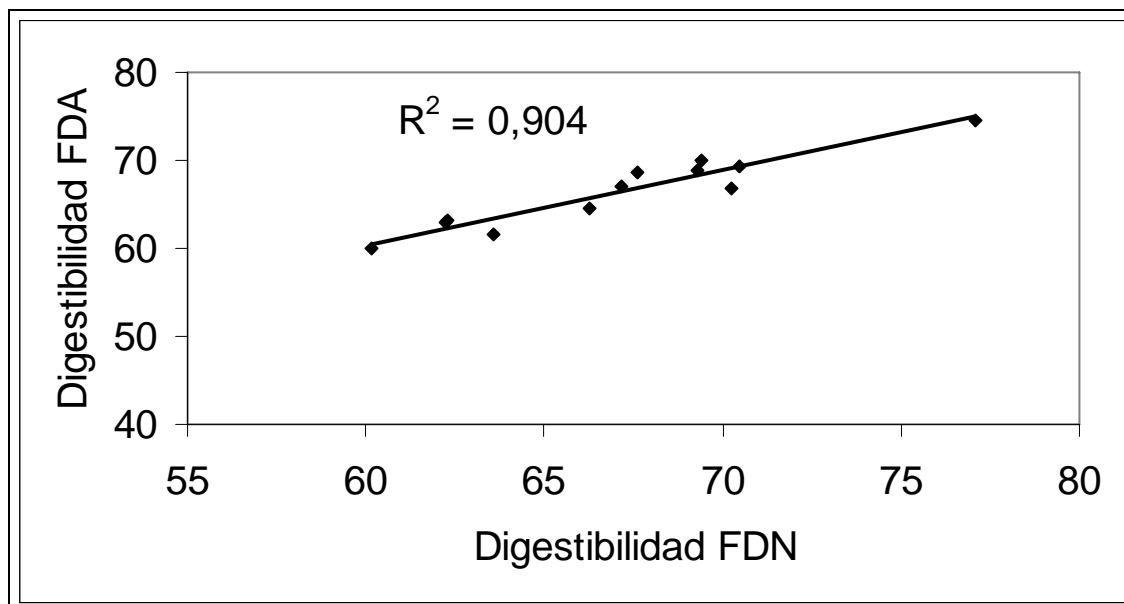
L = Animales livianos

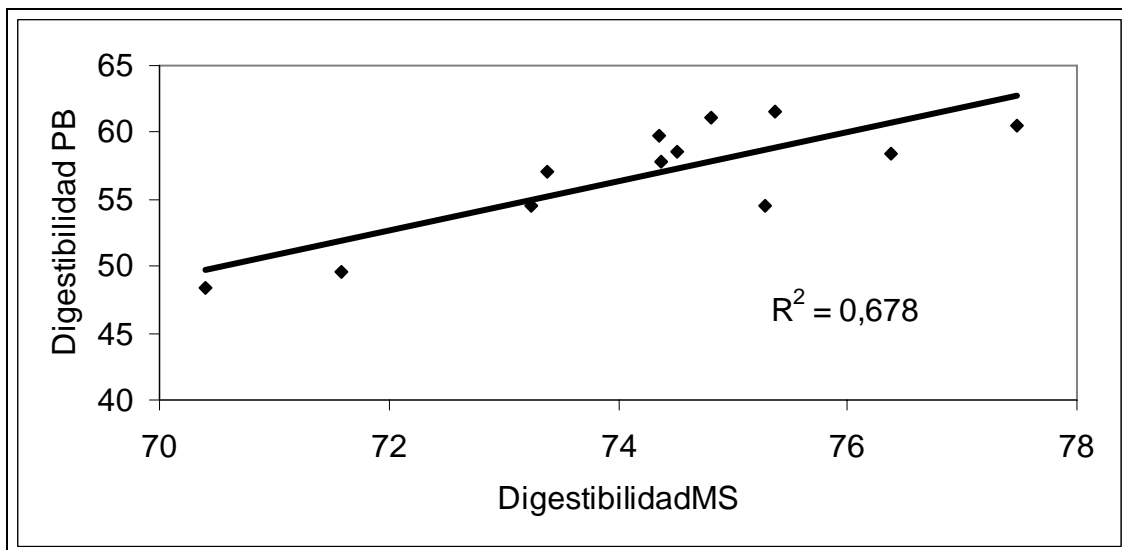
ANEXO 7 Matriz de correlación entre las variables de digestibilidad.

	DMS	DMO	DPB	DFDN	DFDA
DMS	1	0,997**	0,823**	0,288 ns	0,525 *
DMO	0,997**	1	0,798**	0,274 ns	0,509 *
DPB	0,823**	0,798**	1	0,280 ns	0,503 *
DFDN	0,288 ns	0,274 ns	0,280 ns	1	0,951**
DFDA	0,525 *	0,509 *	0,503 *	0,951**	1

** (P ≤ 0.01); *(P ≤ 0.05); ns, (P > 0.05)

ANEXO 8 Relación entre la digestibilidad de la FDN y FDA



ANEXO 9 Relación entre la digestibilidad aparente de la MS y PB

ANEXO 10 Análisis de varianza para DMS.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Valor F	Pr > F
Maíz	2	8,89	4,44	1,42	0,31
Peso	1	4,24	4,24	1,36	0,29
Maíz*peso	2	9,64	4,82	1,54	0,29

DMS = Digestibilidad aparente de la MS

ANEXO 11 Análisis de varianza para DMO.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Valor F	Pr > F
Maíz	2	9,96	4,98	1,77	0,25
Peso	1	3,50	3,50	1,25	0,31
Maíz*peso	2	7,43	3,72	1,33	0,33

DMO = Digestibilidad aparente de la MO

ANEXO 12 Análisis de varianza para DPB.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Valor F	Pr > F
Maíz	2	24,88	12,44	0,66	0,55
Peso	1	6,81	6,81	0,36	0,57
Maíz*peso	2	62,66	31,33	1,67	0,26

DPB = Digestibilidad aparente de la PB

ANEXO 13 Análisis de varianza para DFDN.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Valor F	Pr > F
Maíz	2	95,30	47,65	3,33	0,10
Peso	1	5,23	5,22	0,36	0,57
Maíz*peso	2	52,67	26,34	1,84	0,24

DFDN = Digestibilidad de la FDN

ANEXO 14 Análisis de varianza para DFDA.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Valor F	Pr > F
Maíz	2	44,79	22,39	1,776	0,25
Peso	1	10,69	10,69	0,84	0,39
Maíz*peso	2	58,51	29,25	2,30	0,18

DFDA = Digestibilidad de la FDA