

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD *IN VIVO*
DEL GRANO DE MAÍZ EXTRUÍDO, ROLADO Y
MOLIDO EN BOVINOS

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

BRUNO GERHARD ALBERTO VYHMEISTER LÓPEZ

VALDIVIA – CHILE

2005

PROFESOR PATROCINANTE:

Sr. René Anrique G.

Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.

.....

PROFESORES INFORMANTES:

Sr. Luis Latrille L.

Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.

.....

Sra. Suzanne Hodgkinson

B. Sc., M Sc., Ph. D.

.....

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron al desarrollo de esta investigación.

Especialmente quiero agradecer al profesor patrocinante Sr. René Anrique G., Ing. Agr., M. Sc., Ph. D., y a los profesores informantes Sr. Luis Latrille L., Ing. Agr., M. Sc., Ph. D. y Sra. Suzanne Hodgkinson, B. Sc., M Sc., Ph. D.

Además agradezco el constante apoyo que he recibido, durante mi paso por la Universidad, de los integrantes del Club de Rugby Universidad Austral de Chile, Trui Uyttendaele, Daniel Woywood y Susana Weber.

A mis Padres
y
A mis Abuelos José y Violeta.

ÍNDICE DE MATERIAS

Cápítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Características generales del cultivo de maíz	3
2.1.1	Maíz grano seco (Molido)	3
2.1.2	Maíz rolado al vapor	4
2.1.3	Maíz extruido	5
2.2	Características generales de la alfalfa	5
2.2.1	La alfalfa como recurso forrajero	5
2.2.2	Valor nutritivo de la alfalfa	6
2.3	Digestibilidad	8
2.3.1	Factores que afectan la digestibilidad	8
2.3.2	Métodos para medir la digestibilidad	9
2.3.3	Digestibilidad <i>in vivo</i>	9
2.3.3.1	Digestibilidad <i>in vitro</i>	11
2.3.3.2	Digestibilidad <i>in situ</i>	12
2.4	Digestibilidad por diferencia	13
2.5	Valoración energética	13
2.5.1	Energía bruta	14
2.5.2	Energía digestible	15
2.5.3	Energía metabolizable	15
2.6	Valor nutritivo y digestibilidad de la materia seca (MS) y materia orgánica (MO)	16
2.7	Valor nutritivo y digestibilidad de la fibra (FDN y FDA)	17
2.8	Valor nutritivo y digestibilidad de la proteína bruta (PB)	19

3	MATERIAL Y MÉTODO	20
3.1	Consideraciones generales	20
3.2	Lugar y duración del estudio	20
3.3	Alimentos estudiados	20
3.4	Periodo experimental	21
3.5	Determinación de la digestibilidad	22
3.5.1	Periodo experimental	23
3.6	Pruebas de colección y muestreos	24
3.6.1	Muestreo de alimentos	24
3.6.2	Fecas limpias	24
3.6.3	Fecas sucias	25
3.6.4	Orina	25
3.7	Análisis químico y determinaciones	26
3.8	Determinación de la digestibilidad <i>in vivo</i>	27
3.9	Diseño experimental y análisis estadístico	29
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30
4.1	Resultados	30
4.1.1	Composición de los alimentos estudiados	30
4.1.2	Digestibilidad <i>in vivo</i> de la ración total	31
4.1.3	Digestibilidad <i>in vivo</i> por tipo de maíz	31
4.1.4	Pérdidas metabólicas	32
4.2	Discusión	33
4.2.1	Composición química de los alimentos	33
4.2.2	Digestibilidad <i>in vivo</i> y valor energético	34
4.2.3	Pérdidas metabólicas	38
5	CONCLUSIONES	41
6	RESUMEN	42
	SUMMARY	43
7	BIBLIOGRAFÍA	44
	ANEXOS	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Organización del estudio por períodos	23
2	Análisis de laboratorio	26
3	Composición química de los alimentos estudiados (BMS)	30
4	Digestibilidad promedio ración total incluidos cubos de alfalfa como forraje acompañante (%)	31
5	Digestibilidad promedio de los granos de maíz calculada por diferencia	32
6	Estimación de las pérdidas metabólicas de energía de las raciones en proporción de la energía bruta ingerida base seca, %	32
7	Valores energéticos por tipo de maíz	35

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico		Página
1	Porcentaje de energía metabolizable (EM) y energía digestible (ED) <i>in vivo</i> promedio en el grano de maíz	35
2	Digestibilidad de la FDA y FDN <i>in vivo</i> promedio ración total	37
3	Perdidas metabólicas promedio, como porcentaje de la EB total ingerida para la ración compuesta por maíz extruido, rolado y molido	38
4	Perdidas metabólicas promedio del total de pérdidas de energía	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Peso fecas limpias de bovino, colección diaria, primer periodo (gramos, btc)	55
2	Peso fecas limpias de bovino, colección diaria, segundo periodo (gramos, btc)	56
3	Peso promedio fecas sucias de bovino, colección diaria de los dos periodos (gramos, btc)	57
4	Peso promedio orina de bovino, colección diaria, primer periodo (gramos, btc)	58
5	Peso promedio orina de bovino, colección diaria, segundo periodo (gramos, btc)	59
6	Composición química de las fecas limpias de bovino colectadas diariamente, primer periodo (BMS, liofilizador)	60
7	Composición química de las fecas limpias de bovino colectadas diariamente, segundo periodo (BMS, liofilizador)	61
8	Composición química de las fecas limpias de bovino colectadas diariamente, en promedio (BMS, liofilizador)	62

9	Determinaciones realizadas a la orina de bovino	63
10	Pérdidas metabólicas como % de la energía bruta total ingerida, durante los dos periodos, por parte de los bovinos en estudio)	64
11	Análisis de varianza para el porcentaje de pérdidas de energía en forma de gases	65
12	Análisis de varianza para el porcentaje de pérdidas de energía en las fecas	65
13	Análisis de varianza para el porcentaje de pérdidas de energía de la orina	65
14	Consumo diario de alimento durante cada período experimental (Kg/MS/día)	66
15	Composición química de los alimentos estudiados (BMS, Liofilizador)	67
16	Resultados digestibilidad <i>in vivo</i> ración total (Maíz, Alfalfa)	67
17	Resultados digestibilidad <i>in vivo</i> ración total (Maíz, Alfalfa)	68
18	Análisis de varianza del contenido de materia seca (%) ración total	68
19	Análisis de varianza para la digestibilidad del valor D (%) <i>in vivo</i> ración total	69

20	Análisis de varianza para la digestibilidad de la energía metabolizable (%) <i>in vivo</i> ración total	69
21	Análisis de varianza para la digestibilidad de la energía digestible (%) <i>in vivo</i> ración total	69
22	Análisis de varianza para la digestibilidad de la proteína bruta (%) <i>in vivo</i> ración total	70
23	Análisis de varianza para la digestibilidad de la fibra de detergente neutro (%) <i>in vivo</i> ración total	70
24	Análisis de varianza para la digestibilidad de la fibra de detergente ácido (%) <i>in vivo</i> ración total	71
25	Resultados digestibilidad del maíz por diferencia	71
26	Resultados digestibilidad del maíz por diferencia	72
27	Resultado promedio DMS, Valor D, ED, EM, PB <i>in vivo</i> (%) y EM/ED de la digestibilidad del maíz en el primer periodo de muestreo	72
28	Resultado promedio DMS, Valor D, ED, EM, PB <i>in vivo</i> (%) y EM/ED de la digestibilidad del maíz en el segundo periodo de muestreo	72
29	Análisis de varianza para la digestibilidad de la materia seca (%) <i>in vivo</i> del maíz	73

30	Análisis de varianza para la digestibilidad del Valor D (%) <i>in vivo</i> del maíz	73
31	Análisis de varianza para la digestibilidad de la energía metabolizable (%) <i>in vivo</i> del maíz	73
32	Análisis de varianza para la digestibilidad de la energía digestible (%) <i>in vivo</i> del maíz	74
33	Análisis de varianza para la digestibilidad de la proteína bruta (%) <i>in vivo</i> del maíz	74

1 INTRODUCCIÓN

La producción animal se ve influenciada por numerosos factores, siendo del punto de vista económico el factor nutricional el más relevante dado que en este se concentran la mayor parte de los costos de las explotaciones. Por lo tanto, es clave dar una correcta utilización a los recursos alimenticios, maximizando su utilización por parte del animal, es decir que obtenga el máximo beneficio posible de este.

Para obtener el máximo beneficio de los alimentos se han desarrollado numerosas técnicas de procesamiento de los alimentos, las cuales permiten que el animal aproveche de mejor forma los nutrientes de estos.

Entre estas técnicas de procesamiento de los granos de cereales se encuentra la molienda, el rolado al vapor y el extruído. Dichas técnicas pueden aumentar la digestibilidad y también influir sobre el aprovechamiento ruminal del almidón de los alimentos, maximizando su utilización por parte del animal. En el presente estudio estas técnicas fueron aplicadas sobre el grano de maíz para evaluar si existen diferencias entre procesos sobre la digestibilidad *in vivo* en bovinos.

Para medir digestibilidad se encuentran numerosos métodos entre los que destaca el método *in vivo*, del cual se hará referencia en el presente estudio. Cabe destacar además que la alfalfa, como recurso forrajero, permite balancear la ración aportando fibra y proteína, dado que es inconveniente suministrar como ración única maíz, el cual puede causar trastornos digestivos si es suministrado como ración única en la evaluación de la digestibilidad *in vivo*.

La importancia del maíz radica en ser un alimento energético de alta digestibilidad. Estas características lo convierten en un recurso de un alto valor y de gran interés productivo.

La energía en las explotaciones ganaderas es el recurso nutricional de mayor importancia, debido a los altos requerimientos de las vacas lecheras y novillos de engorda.

La hipótesis que se plantea en el presente estudio es que: no se esperan diferencias significativas en la digestibilidad del grano de maíz entre procesamientos, medida en el tracto digestivo total.

El presente estudio tiene por objetivo general cuantificar la digestibilidad *in vivo* del maíz en bovinos (rolado, extruido y normal) y por objetivos específicos, evaluar el efecto de la extrusión, rolado y molienda del grano sobre la digestibilidad de la materia seca (DMS), digestibilidad de la materia orgánica (Valor D), digestibilidad de la fibra de detergente ácido (DFDA), digestibilidad de la fibra de detergente neutro (DFDN), digestibilidad de la proteína bruta (DPB), energía digestible(ED) y energía metabolizable (EM) del maíz en bovinos.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características generales del cultivo de maíz

Entre los cultivos suplementarios que es posible utilizar en la suplementación alimenticia se destaca el maíz, el cual posee características de rendimiento, calidad nutritiva y palatabilidad que generalmente son superiores a las praderas (ALDRICH, 1974). A raíz de lo anterior, el cultivo del maíz forrajero (*Zea mays* L.) ha venido constituyéndose en las últimas décadas en una de las principales especies forrajeras del mundo (MACCIO, 1985). Su uso se basa principalmente en la conservación, mediante la práctica del ensilaje de toda la biomasa aérea cosechada (KLEIN, 1989).

BUNTING *et al.* (1978) indican que el alto contenido de hidratos de carbono no estructurales hacen que el maíz posea una alta digestibilidad y un mayor valor energético en comparación con otros cultivos forrajeros.

2.1.1 Maíz grano seco (Molido) SOTO *et al.* (1981) señalan que el maíz, en cualquiera de sus formas de utilización, es un forraje que aporta principalmente energía altamente digestible al ganado.

Las diferencias entre los granos de cereales, en cuanto a la degradabilidad ruminal de su contenido de almidón, es algo que se conoce desde hace décadas, siendo el almidón de maíz uno de los que presenta menor degradabilidad ruminal comparado con la avena, cebada y trigo (WALDO, 1973).

Los tipos de procesamiento más usados pueden ser divididos en métodos físicos y físico-químicos. Entre los métodos físicos existen el triturado, molido, aplastado y peleteado. Ejemplos de métodos físico-químicos son la aplicación de calor y humedad. En el caso de los métodos físicos, la molienda del maíz aumenta la eficiencia de utilización del almidón por parte de las bacterias, sin embargo, dichos cambios no siempre se expresan en una mayor producción. Además el inconveniente que presenta la molienda del grano es que por sus características físicas queda un material muy fino que afecta el consumo de los animales bajándolo (BARGÓ *et al.*, 1998)

2.1.2 Maíz rolado al vapor Es importante utilizar fuentes de energía que permitan lograr una buena sincronización entre la degradación de la fracción energética y nitrogenada, a fin de optimizar la síntesis de proteína microbiana y su posterior uso a nivel intestinal para así optimizar el uso del alimento por parte del bovino (HUNTINGTON, 1997).

Una forma de facilitar el acceso de los microorganismos al substrato energético del grano del cereal es efectuar tratamientos de texturización (físico-químico) como el rolado al vapor que consiste en la hidratación y cocción mediante tratamiento de vapor a presión y posterior rolado mediante rodillos. Esto permitiría mejorar la digestibilidad del almidón y aumentar el contenido de energía metabolizable, especialmente si se le compara con el grano entero (ISHIDA *et al.*, 1997).

2.1.3 Maíz extruido Otra alternativa para aumentar la utilización del almidón en el rumen se obtiene con el método físico-químico de extrusión, por su efecto de gelatinización del almidón.

DUST *et al.* (2004) señalan que el proceso de extrusión, es utilizado en la elaboración de alimentos como cereales, pelets para mascotas y

bocadillos (snack). En este proceso actúan diferentes variables como temperatura, presión, humedad y tiempo de extrusión. El alimento sufre cambios, tanto físicos como químicos, al ser sometido al proceso de extrusión. Este proceso puede afectar directamente la composición de los carbohidratos, específicamente sobre el almidón y la fibra.

DUST *et al.* (2004) describen tres diferentes tipos de extrusión (extrusión suave, extrusión moderada y extrusión extrema), que varían entre sí por el tiempo durante el cual son sometidos temperatura y presión.

SHABI *et al.* (1999) señalan que al incluir maíz extruido en las dietas de bovinos no se vieron afectados los ácidos grasos volátiles, digestibilidad de la materia orgánica, ni de la materia seca y proteína en la digestibilidad *in vivo*.

2.2 Características generales de la Alfalfa

La alfalfa (*Medicago sativa*) es una de las plantas más antiguas que se conoce. Su origen se encuentra en Irán y en los oasis de la Península Arábiga (MUÑOZ y MOMBERG, 1989).

La introducción de la alfalfa en el continente americano se realizó primero, en América del Sur, estableciéndose en Argentina, Chile y Perú. Desde Chile habría sido llevada a California como trébol de Chile, aproximadamente en 1850 (AGUILA, 1979).

En Chile, la alfalfa fue cultivada en extensiones moderadas, durante la primera mitad del siglo pasado en el valle del Río Huasco, desde donde se propagó hacia el centro del país (AGUILA, 1979).

2.2.1 La alfalfa como recurso forrajero La alfalfa (*Medicago sativa* L.) pertenece a la familia de las *Fabaceae* o leguminosas. La raíz principal es de

tipo pivotante que en la mayoría de los casos alcanza una profundidad entre 60 y 90 cm con una máxima presentación en los primeros 30 centímetros del suelo (SPEEDING y DIECKMAHNS, 1972). En los suelos profundos y bien drenados puede llegar a tener profundidades de más de 7 metros lo que sustentaría los altos rendimientos observados en zonas secas (JUNG y LARSON, 1972).

Entre la raíz y el tallo, la alfalfa posee un ensanchamiento leñoso llamado corona, donde se ubican las yemas que originan los nuevos tallos, una vez que los viejos tallos maduren, sean cortados o pastoreados (SOTO y MARTINEZ, 1985). Dependiendo del vigor de la planta, pueden surgir entre 5 a 20 tallos, o incluso mas, de una misma corona (CORREA, 1978).

Las hojas de la alfalfa son trifoliadas, se ubican alternadamente en los tallos y presentan yemas axilares capaces de originar nuevos tallos con hojas (SPEEDING y DIECKMAHNS, 1972).

Las flores crecen en racimos abiertos de las axilas de las hojas, con pétalos azul púrpura en la alfalfa común. El fruto es una legumbre sin espinas en forma de espiral, que normalmente contiene 2 a 6 semillas arriñonadas (MUSLERA y RATERA, 1984).

2.2.2 Valor nutritivo de la alfalfa La alfalfa se destaca por su elevado contenido de proteínas y calcio, así como por su buena palatabilidad (PARGA y KLEIN, 1989).

No obstante, la digestibilidad sólo alcanzará valores medios que pueden ser una limitante especialmente en alfalfa administrada como único forraje a vacas lecheras de alta producción (KLEIN, 1989).

El estado fenológico o desarrollo al momento de la cosecha, es el principal factor determinante del valor nutritivo de la alfalfa, ya que éste último decrece con la madurez de la planta.

En pleno período vegetativo, el contenido de proteínas (proteína total) puede alcanzar alrededor del 25% y la digestibilidad de la materia seca un 80%, descendiendo estos valores a 15% para la proteína y a 60% para la digestibilidad, cuando la pradera presenta un 50% de floración (KLEIN, 1989).

Según ANDERSON (1976), la pérdida de digestibilidad de la alfalfa, alcanza de 0,23 a 0,48 unidades diarias a partir del estado botón, por lo que es importante no retrasar la cosecha más allá de un 10% de floración.

El contenido de calcio es 4 veces mayor que las concentraciones encontradas en praderas permanentes, fluctuando entre 1,3% a 2,4% de la materia seca en caso de la alfalfa.

La relación calcio-fósforo se torna muy amplia, siendo superior a 2:1, recomendada para la alimentación animal, haciéndose necesaria la suplementación con sales minerales ricas en fósforo.

Cabe destacar que la alfalfa suele presentar bajo nivel de sodio, por lo cual se debe considerar una suplementación con sal común, cuando esta especie constituye parte importante de la ración.

Estudios realizados en Shelford, citados por BUSTILLOS (1990), mostraron que la digestión proteica de la alfalfa se reduce en 10% por cada 5% de incremento de la FDA.

Finalmente se puede decir, que el aporte nutritivo de la alfalfa, debe relacionarse con otras fuentes alternativas de alimento. En este sentido, la alfalfa adquiere una manifiesta ventaja durante el verano, cuando la pradera permanece seca.

2.3 Digestibilidad

La digestibilidad de un alimento se define como la proporción del alimento que no es excretado con las heces y se supone por lo tanto, que ha sido absorbido. Generalmente la digestibilidad se representa por el coeficiente de digestibilidad expresando en % MS (Mc DONALD *et al.*, 1979). KIRCHGESSNER (1992), indica que de esta manera se obtiene la digestibilidad aparente; dado que no se incluye la excreción endógena producto de la descamación de células del tracto digestivo y cuerpos bacterianos del animal, ente otros, que forman la fracción metabólica fecal.

La digestibilidad es, entre las variables que describen la calidad de las praderas y de otros forrajes, un buen índice, porque en un solo valor se puede expresar, con cierto nivel de precisión, la concentración de nutrientes que pueden ser aprovechados a nivel del sistema digestivo y permiten además visualizar o cuantificar la restricción que esta variable puede ejercer en el consumo animal (SILVA *et al.*, 1984).

2.3.1 Factores que afectan la digestibilidad KIRCHGESSNER (1992) menciona que existen principalmente cuatro factores que afectan la digestibilidad. Tales factores estarían relacionados con el tipo de animal, los niveles de consumo, la composición de la ración y los tratamientos de los respectivos componentes de la ración.

Holmes *et al.*, citados por SIMON (1992), explican que la digestibilidad es una propiedad más bien del alimento que del animal; varía entre vegetales y

de una especie a otra. El nivel de alimentación es otro factor que influye sobre la digestibilidad, ya que altos niveles de consumo producen un aumento en la tasa de pasaje del alimento y disminuye la digestibilidad debido a que las partículas de alimento estarían expuestas a los organismos y enzimas digestivas por menor período de tiempo. Este efecto se acentúa cuando el alimento es de baja digestibilidad, produciéndose pocas diferencias con alimentos de mayor digestibilidad.

2.3.2 Métodos para medir la digestibilidad Dada la importancia que presenta la digestibilidad, existen numerosos métodos para determinarla, los cuales pueden ser agrupados en digestibilidad *in vivo*, *in vitro* e *in situ*.

2.3.3 Digestibilidad *in vivo* Los métodos mas utilizados en estudios para obtener la digestibilidad *in vivo* consisten en los métodos de recuperación total y del indicador (Mc DONALD *et al.*, 1979) que serán comentados a continuación.

El método de recuperación total requiere un registro de las sustancias consumidas y las cantidades que se excretan en las heces. Para tal propósito se han ideado jaulas metabólicas en las que se consigue la separación y exacta recogida de las materias excretadas. El animal está de pie sobre una reja de hierro, a través de la cual pasan las materias excretadas. El comedero se localiza en la parte exterior, de modo que ninguna porción de comida puede ir a parar sobre el excremento (MAYNARD, 1955).

En general en los ensayos de digestibilidad se usan preferentemente machos, dado que con ellos es más fácil obtener la orina y las heces por separado (Mc DONALD *et al.*, 1979).

Antes de comenzar el período de colección, es necesario un período previo de adaptación para rumiantes de 10 a 14 días, con el fin de acostumbrar

al animal a la ración, además de evitar que existan restos de raciones anteriores en el sistema digestivo. El periodo de colección debe tener una duración de 7 a 10 días (KIRCHGESSNER, 1992).

Mc DONALD *et al.* (1979) mencionan además que el alimento debe mezclarse lo mejor posible para conseguir una composición uniforme. Los mismos autores aconsejan alimentar a los animales todos los días a la misma hora, procurando que las cantidades ingeridas sean aproximadamente las mismas. Si la ingestión es irregular existe el peligro, por ejemplo, de que la última comida sea desacomodadamente copiosa y que las heces excretadas después de terminado el período de recogida contengan todavía productos procedentes de ella.

Los estudios de digestibilidad deben realizarse con varios animales, primero porque los animales, aunque sean de la misma especie, edad y sexo, presentan ligeras diferencias en su habilidad digestiva, y segundo, porque así se detecta fácilmente cualquier error que pudiera cometerse (Mc DONALD *et al.*, 1979). KIRCHGESSNER (1992), propone usar 3 a 4 animales por prueba metabólica.

Según Riveros, citado por HELD (1994), el método de recolección total es bastante preciso, pero presenta una serie de inconvenientes. Entre los más importantes señala la necesidad de contar con cantidades importantes de alimento por analizar, además de equipamiento y animales adecuados, generalmente caros. Se requiere un periodo prolongado para la adaptación de los animales y posteriormente determinaciones, durante el cual pueden variar las características del forraje cuya digestibilidad aparente se pretende evaluar.

Otro método frecuentemente utilizado consiste en el método del indicador que es muy útil en caso que se dificulta controlar la ingesta, coleccionar o

pesar las heces. Además cuando se alimenta a los animales en grupos, no se puede precisar cuánto ha sido ingerido por cada uno. En estos casos es posible calcular la digestibilidad añadiendo al alimento una sustancia que sea totalmente indigestible. Midiendo su concentración en el alimento y en pequeñas muestras de heces de los animales, se obtiene una relación que permite obtener una medida de la digestibilidad (Mc DONALD *et al.*, 1979).

El indicador más usado es el óxido de cromo, utilizándose también como indicadores naturales la lignina y cromógenos (KIRCHGESSNER, 1992). Los indicadores deberán pasar por el tubo digestivo a una velocidad uniforme, no tener efectos farmacológicos y deberán ser fáciles de determinar químicamente (TYLER, 1992).

2.3.3.1 Digestibilidad *in vitro* El fin de estas técnicas es simular los procesos de digestibilidad que ocurren *in vivo*. La gran mayoría de estos procedimientos fueron utilizados por largo tiempo para el estudio cuantitativo de la digestión de los forrajes a través de los microorganismos del rumen. Con la incorporación del método de Tilley Terry para la evolución de la digestibilidad *in vivo* se modificaron las anteriores, siendo posible a través de esta última predecir en forma exacta la digestibilidad aparente (BARNES Y MARTEN, 1979).

Existen tres componentes fundamentales en todo ensayo de digestibilidad *in vitro*: el sustrato, que corresponde a la muestra; el inoculo o licor ruminal, y el tampón o buffer que es saliva artificial (SIMON, 1992).

La técnica de TILLEY y TERRY (1963), consiste en incubar una pequeña muestra de forraje seco en una muestra de licor ruminal con saliva artificial. Esta última permite mantener el pH en los niveles normales de digestión. El sistema debe mantenerse anaeróbico y a 38⁰C durante 48 horas. Para mantener la condición de anaerobiosis, a cada tubo se le adiciona CO₂

antes de ser tapado. Luego se realiza una segunda etapa donde el residuo que no ha sido digerido se somete a una solución de pepsina ácida a 38⁰C por un periodo de 48 horas. En esta etapa la condición anaeróbica no es necesaria.

Algunos autores proponen reemplazar la fase de pepsina ácida por el uso de un detergente neutro; solución que es mucho más efectiva en eliminar la totalidad de los residuos microbianos, pudiendo determinar el residuo de pared celular no digerido (ILLANES, 1989).

Se puede señalar que en general a través del método *in vitro* los resultados obtenidos de la digestibilidad, ya sea de la materia seca u orgánica, son significativamente inferiores a los resultados obtenidos *in vivo*. Esta subvaloración es mayor en la medida que baja la digestibilidad de los forrajes, siendo el efecto más notorio al comparar los resultados de digestibilidad de la materia orgánica (CERDA *et al.* 1986).

2.3.3.2 Digestibilidad *in situ*. Según AYLWIN (1987), esta técnica consiste en colocar en el rumen un bolsa de nylon con el fin de medir el grado de degradación de diferentes sustratos. El éxito de la técnica *in situ* está determinada por diversos factores como: el material de la bolsa, tratamiento, preparación y tamaño de la muestra, posición en el rumen, tiempo de incubación, repeticiones, número de bolsas incubadas, dieta del animal y lavado de la bolsa.

ILLANES (1989) menciona que el método de digestibilidad *in situ* tiene la ventaja que requiere muestras pequeñas, haciendo uso de animales fistulados en el rumen, donde se fermentan los forrajes de bolsas de algún material poroso que resiste a la acción microbiana.

Neatherly, citado por ILLANES (1989), señala que la técnica de la bolsa de nylon es altamente correlacionable con el valor de digestibilidad *in vivo* de la materia seca.

2.4 Digestibilidad por diferencia

Crampton *et al.*, citados por BATEMAN (1970), señala que la digestibilidad puede determinarse en un alimento individual en mezclas de alimentos. Estas mezclas las encontramos dado que existen alimentos que no es práctico ni deseable que sean suministrados como único componente de la ración, las razones son por la posibilidad de no ser comido o que no sea conveniente usar el alimento solo. Para tener una medida verdadera del valor de un alimento, es necesario considerar el valor suplementario del otro alimento usado en la mezcla. Para llevar a cabo esto, se debe medir la digestibilidad de una mezcla y sustituir el alimento bajo estudio por un ingrediente o parte de un ingrediente para comparar después la diferencia en digestibilidad.

2.5 Valoración energética

Podemos señalar que el contenido energético se estima a partir de la composición química o de la *digestibilidad in vitro* empleando ecuaciones de regresión determinadas en el extranjero (ANRIQUE *et al.*, 1996).

Según ANRIQUE (1994), el contenido de energía nutricionalmente útil para fines rutinarios y de servicio no puede ser determinado en forma *in vivo*, dado el tiempo y lo aparatoso de la determinación *in vivo* para la obtención de resultados, por lo que necesariamente se recurre a su estimación a partir de análisis de laboratorio. La mayoría de los laboratorios utilizan ecuaciones de regresión entre uno o más parámetros químicos, biológicos o estimaciones de ambos y el valor energético determinados *in vivo*.

Según MOREIRA (1995), existen diferentes formas de expresar el valor energético de los alimentos dependiendo del nivel de uso de dicha energía por parte del animal. A continuación se presentarán los tres primeros niveles: energía bruta, energía digestible y energía metabolizable.

2.5.1 Energía bruta La cantidad de energía química de un alimento se determina convirtiéndola en energía calórica y midiendo el calor producido. La cantidad de calor que resulta de la combustión completa de la unidad de peso de un alimento se conoce como EB o calor de combustión de aquel alimento (Mc DONALD *et al.*, 1979; CHURCH y POND, 1977; KIRCHGESSNER, 1992). Al quemarse la muestra en un horno calorimétrico, el calor producido eleva la temperatura del agua que rodea el recipiente en que se encuentra la muestra, el aumento de la temperatura del agua proporciona la base para calcular el valor energético (CHURCH y POND, 1977).

KIRCHGESSNER (1992) y Mc DONALD *et al.*, (1979) señalan que en general la EB sirve sólo de punto de partida para la determinación del valor energético de los alimentos, dado que no puede ser considerada como valor de referencia en la estimación de la energía disponible, puesto que no contempla las pérdidas de energía que ocurren durante los procesos digestibles y metabólicos.

GIVENS *et al.* (1990) proponen considerar la EB junto a la digestibilidad en regresiones múltiples como predictor de la EM. En el caso de regresiones simples (Givens *et al.*, citados por ANRIQUE, 1994) usando como predictores de EM, la digestibilidad determinada por licor ruminal - pepsina, la FDN y la FDA tratada con celulasas se aumentan los coeficientes de determinación desde 24%, 20% y 14% a 77%, 71% y 65% respectivamente, al usar la EB en las regresiones múltiples.

2.5.2 Energía digestible Una fracción del alimento ingerido es expulsada vía heces, por lo que parte del contenido energético es eliminado (KIRCHGESSNER, 1992). La energía digestible de un alimento es su energía total menos la energía contenida en las heces procedentes de la ingesta de ese alimento (Mc DONALD *et al*, 1979).

2.5.3 Energía metabolizable Parte de la energía digestible se pierde a través de orina y en forma de gases. Al restarle estas pérdidas a la energía digestible se obtiene la energía metabolizable (KIRCHGESSNER, 1992).

La energía que se pierde a través de la orina en rumiantes equivale aproximadamente a un 3% de la energía bruta ingerida (CHURCH y POND, 1977). Otros autores como MC DONALD *et al*. (1979), GIVENS *et al*. (1989) y MOSS *et al*. (1992) midieron pérdidas de energía vía la orina de un 6 y un 7 % respectivamente.

Los gases liberados por el animal están formados casi exclusivamente por metano (Mc DONALD *et al*, 1979). La pérdida de metano está íntimamente relacionada con la ingestión de alimento siendo las perdidas alrededor de un 8% cuando la dieta es de mantención (Mc DONALD *et al*, 1979 y KIRCHGESSNER, 1992) Cuando el nivel de alimentación sube, esta proporción cae hasta 7% o 6% (Mc DONALD *et al*, 1979); estos autores señalan además que la pérdida por metano son menores en raciones con una alta digestibilidad que en raciones con digestibilidades menores.

Existen diferentes fórmulas propuestas en la literatura para cuantificar las pérdidas de metano, sin embargo en muchos estudios en los cuales se ha determinado el valor energético de forrajes, se ha utilizado la ecuación de predicción del metano de BLAXTER y CLAPPERTON (1956). Edwards, citado por GIVENS *et al*, (1989), señala que esta ecuación sobrestima las pérdidas de metano en un 6%, lo que traería un pequeño error en los cálculos de la EM.

2.6 Valor nutritivo y digestibilidad de la materia seca (MS) y materia orgánica (MO)

Junto con los cambios producidos en la distribución de los carbohidratos presentes en la planta de maíz se produce un incremento en el contenido de MO de la planta en su totalidad, lo que trae consigo incrementos en el rendimiento (BUNTING *et al*, 1978). Según DEMARQUILLY (1969), el contenido de MS del cultivo está directamente relacionado con el contenido de almidón en el total del cultivo. El almidón es el principal carbohidratos no estructural presente en el maíz (ALDRICH y LENG, 1970). Los cambios fonológicos de maduración en la planta conllevan también a una disminución en el rendimiento del tallo y hojas, compensados por el aumento del peso de la mazorca. (BUNTING *et al.*, 1978).

La concentración de carbohidratos presentes en el maíz muestra un aumento progresivo a medida que el maíz pasa de estado vegetativo a estado reproductivo (Mc ALLAN y PHIPPS, 1977). Por su parte, el valor D, que representa el porcentaje de materia orgánica digestible presente en la MS, se ve levemente influido al pasar de un estado a otro, manteniéndose su valor relativamente constante (WILKINSON, 1978).

Las variaciones en la digestibilidad se deben principalmente a la variación que presentan los carbohidratos estructurales constituyentes de la pared celular de la planta. Los dos carbohidratos estructurales presentes en mayor porcentaje en la pared celular, son celulosa y hemicelulosa. Estos, en teoría, son completamente digestibles, pero en la práctica su digestibilidad se ve reducida por la presencia de lignina (WILKINSON, 1978).

La lignina le da firmeza estructural a la planta mediante la formación de puentes entre las fibras de celulosa y hemicelulosa. Esto hace a la hemicelulosa

ser menos accesible a la acción de las bacterias del rumen (WELCH, 1967; WILKINSON, 1978).

ST-PIERRE *et al.* (1983), señalan que a medida que la planta madura, la digestibilidad se incrementa por el aumento de porcentaje de granos pero disminuye el contenido de follaje, con lo cual su valor permanece relativamente constante, aun cuando el porcentaje de MS varía entre 26-34%; con un porcentaje mayor de MS el valor nutritivo del ensilaje tenderá a disminuir. Otros estudios realizados por DAINHAR y HUNTER (1975) y por JONSON y Mc CLURE (1968), confirman lo planteado por ST-PIERRE *et al.* (1983). Agregando que se encontraron sólo leves variaciones de la digestibilidad de la MS en rangos tan amplios como los señalados anteriormente.

Con respecto a lo anterior, KILKENMY (1990) realizó un estudio sobre diversos ensilajes de maíz y señala que no existen diferencias significativas en el contenido de nutrientes en maíces cosechados para ensilajes entre los estados de grano lechoso y grano masa dura.

Con respecto a la relación existente entre porcentaje de MS y el valor de energía neta del maíz, WEISS (1993) señala que este valor se incrementa cuando tanto el contenido de MS como la proporción de mazorcas aumentan en el cultivo. En relación a esto ST-PIERRE *et al.* (1983), afirman que la tendencia de la digestibilidad de la energía es similar a la demostrada por la MS.

2.7 Valor nutritivo y digestibilidad de la fibra (FDN y FDA)

La fibra corresponde a un conjunto heterogéneo de sustancias orgánicas entre los que se destaca la celulosa, hemicelulosa, lignina, suberina, pectina y cutinas (RIVEROS, 1986). Para efectos del análisis y estudio se diferencian dentro de la fibra la FDN y la FDA, determinadas mediante los

métodos de detergente neutro y detergente ácido respectivamente (GOERING y VAN SOEST, 1972).

La FDN estima el contenido de la pared celular en la planta (BONDI, 1988). Mientras que la FDA mide el contenido de celulosa y lignina. De esta forma el contenido de hemicelulosa es estimada mediante la diferencia entre FDN y la FDA. Por otra parte la lignina, que es el principal soporte estructural de la planta, puede ser estimado mediante la diferencia entre la FDA y la celulosa contenida en la pared celular (PHIPPS, 1990).

La digestibilidad de la FDN no es constante. Esto debido a la influencia que ejerce la lignina presente en la planta. Esta es totalmente indigestible y considerada el principal factor de variación de la digestibilidad de la fibra (WEISS, 1993). Considerando que la digestibilidad de la fibra está influida por la concentración de lignina presente, se han desarrollado diversos métodos para determinarla como el propuesto por GOERING y VAN SOEST (1972), quienes determinaron la digestibilidad de la FDN usando una ecuación basada en el logaritmo de la concentración de la lignina en la fibra.

La fibra es la variable más comúnmente utilizada para estimar el nivel de energía de alimentos (WEISS, 1993).

El contenido de la fibra FDN, FDA y lignina está determinado por la acción de tres factores como son el estado de madurez, el genotipo y la densidad de plantas al momento de la cosecha.

En otros estudios se ha determinado también que la concentración de FDN, y FDA va disminuyendo hasta que la planta alcanza 36% de MS, luego comienza a aumentar a medida que aumenta el porcentaje de MS de la planta (ST-PIERRE *et al.*, 1983 y PHIPPS, 1990).

2.8 Valor nutritivo y digestibilidad de la proteína bruta (PB)

Corresponde al total de nitrógeno presente en la muestra multiplicada por el factor 6,25 (CHURCH, 1974; PHIPPS *et al*, 1981). Como lo han señalado diversos autores el maíz forrajero presenta un bajo tenor de PB, Hilman (1969), citado por PHIPPS *et al*. (1981), destaca niveles promedio de proteína en maíz con rangos entre los 7,9 y 10,8%.

LANGENBACH (1983) señala que en la zona sur de Chile, el rendimiento de PB se incrementa hasta el final de marzo, cuando comienza la maduración fenológica de la planta, para luego mantenerse constante. Similar comportamiento se demostró en el estudio realizado por SOTO y JAHN (1983), quienes demostraron que después del estado de grano lechoso, el porcentaje de PB tiende a estabilizarse en un nivel cercano al 8%.

Por otra parte OJEDA (1977) determinó en su estudio, que el contenido proteico del maíz forrajero varía según el estado de madurez en que se encuentre la planta y la diferente densidad de siembra. En su estudio encontró valores promedio de PB para maíces en estado de grano lechoso de 6,1% y para grano pastoso de 6,4%.

El porcentaje de proteína de las hojas puede llegar a ser hasta más del doble que el contenido del tallo, lo que es común en otros forrajes aparte de los cereales. Cerca del 55% del total del rendimiento de PB lo aporta la mazorca al estado de grano pastoso mientras que al estado de grano maduro, la mazorca contribuye con el 55 a 70% del total de PB (PERRY y CRAMPTON, 1977).

En el maíz, DEMARQUILLY (1969) señala que, la concentración de PB puede fluctuar entre 8 y 10%, aunque la mayor frecuencia de valores se encuentra alrededor del 8 %.

3 MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Consideraciones generales

Las evaluaciones del presente estudio son parte de un proyecto desarrollado por el Instituto de Producción Animal de la Universidad Austral de Chile que tiene como objetivo conocer y evaluar la digestibilidad *in vivo* del maíz sometido a tres procesos: rolado al vapor, extrusión y molienda simple (triturado) mediante una chancadora. El presente estudio corresponde a la fase de evaluación con animales del proyecto, existiendo además evaluaciones *in vitro* e *in situ*.

3.2 Lugar y duración del estudio

Su fase experimental del estudio se realizó entre los meses de septiembre y octubre de 2003 en la Estación Experimental Vista Alegre, propiedad de la Universidad Austral de Chile, ubicada a 5 km al norte de la ciudad de Valdivia, con una duración aproximada de treinta días.

El análisis químico de las muestras se realizó entre los meses de noviembre del 2003 y marzo 2004, en el Laboratorio de Nutrición del Instituto de Producción Animal de la Universidad Austral de Chile.

3.3 Alimentos estudiados

Se utilizó maíz triturado, rolado y extruído, proporcionado por la empresa (COAGRA S.A.). Los tres granos provenían de una misma partida de maíz.

Además se utilizó alfalfa peletizada, de fuente comercial, consistente en cubos de 2x2 pulgadas que fue requerida para realizar estudios de digestibilidad por diferencia, dada la inconveniencia de evaluar los maíces como ración única.

Todos los alimentos se suministraron sin procesamiento adicional, exceptuando el maíz normal que se trituro en un molino de martillo, utilizando una criba de 10 mm.

Las condiciones de procesamiento fueron las siguientes:

Maíz extruido: después de un proceso de selección, limpieza y molienda del grano a 2,5 mm, fué sometido a una extrusión en seco a 90 grados de temperatura, bajo presión de 15 a 20 atmósferas de vapor. Luego se procedió a su secado y enfriado, a temperatura ambiente, con humedad final de 12 a 14%.

Maíz rolado: luego de una selección y limpieza el grano fue sometido a una temperatura de 100 C° por 55 minutos, con vapor a presión atmosférica y posteriormente el maíz fue rodillado.

Animales utilizados: para las pruebas de digestibilidad se utilizaron 12 terneros machos de la raza Frison provenientes del predio Punahue perteneciente a la Universidad Austral, que a su arribo al la Estación Experimental, fueron pesados teniendo un peso promedio de 120kg.

Los animales fueron ubicados en jaulas metabólicas, diseñadas y acondicionadas especialmente para este tipo de estudio, las cuales permiten realizar mediciones individuales de consumo y de producción de fecas y orina.

3.4 Periodo pre-experimental

Este periodo tuvo una duración de catorce días, durante la cual los animales fueron alimentados los primeros seis días con 1,6kg de Alfalfa y 0,8kg de maíz (un tercio concentrado, dos tercios forraje) para luego aumentar la participación del maíz hasta llegar a una relación de 50:50% en el día 10, que

se mantuvo durante el estudio. Durante esta etapa se observó cuidadosamente el consumo y la consistencia fecal, para descartar la ocurrencia de trastornos metabólicos. En este período, además del acostumbramiento de los animales, se aprovechó de realizar ajustes a las jaulas para una adecuada colección de excretas (fecas y orina).

Las raciones se pesaron diariamente por animal y se suministraron a un nivel aproximado de 80% del consumo *ad libitum* estimado según el peso vivo, para así evitar la existencia de sobras de las raciones y así facilitar la precisión de las mediciones y del cálculo de la digestibilidad. La cantidad de alimento fue la misma para todos los animales y durante el estudio. El agua fue proporcionada *ad libitum* en baldes.

3.5 Determinación de la digestibilidad

La evaluación de la digestibilidad se efectuó en dos pruebas de digestibilidad consecutivas utilizando un total de 12 terneros (tres terneros de aproximadamente 120 kg por cada tratamiento). Los tratamientos estuvieron determinados por los tres tipos de maíz, en combinación con cubos de alfalfa como alimento acompañante para posteriormente calcular la digestibilidad de cada maíz por diferencia (Rymer, 2000). Por tal motivo también se determinó la digestibilidad de la alfalfa como dieta única.

CUADRO 1 Organización del estudio por periodos

Periodo 1				Periodo 2			
Adaptación días	Tratamiento	Nº Animales	Colección días	Adaptación días	Tratamiento	Nº Animales	Colección días
14	MR	3	7	7	ME	3	7
14	ME	3	7	7	MM	3	7
14	MM	3	7	7	MR	3	7
14	ALF	3	7	7	ALF	3	7

MN: Maíz molido; ME: Maíz extruido; MR: Maíz Rolado; Alf: Alfalfa.

3.5.1 Período experimental Cada periodo de colección tuvo una duración de siete días, al cabo de los cuales los animales se intercambiaron de tratamiento, exceptuando el grupo alimentado con cubos de alfalfa, para iniciar un segundo periodo de colección cuadro 1.

En todos los tratamientos siempre se mantuvo una relación 1:1 maíz y alfalfa. Luego del primer período de colección, los animales se reasignaron al azar a un nuevo tratamiento dejándose un periodo de adaptación de siete días antes de la nueva colección durante el cual recibieron su nueva dieta para permitir la limpieza digestiva de residuos del maíz anterior en el ternero y favorecer la adaptación a la nueva dieta. Este nuevo periodo experimental tuvo la duración y las características del primer periodo. El estudio se realizó siguiendo un calendario pre-establecido, como se detalla en el cuadro 1.

El nivel de suministro utilizado (80% *ad libitum*, 2,4 Kg/día/MS) permitió por un lado, evitar la generación de sobrantes y por otro un cierto nivel de aumento de peso de los terneros lo cual se consideró necesario dada la corta edad de los terneros.

La alimentación se realizó dos veces al día (9:00 y 16:00 h) y el agua se suministró en baldes, una vez finalizada la alimentación. Los baldes se

mantuvieron en los comederos hasta la siguiente alimentación y eran rellenados de acuerdo a las necesidades hídricas de los animales.

3.6 Pruebas de colección y muestreos

Las colecciones de fecas y orina se efectuaron según calendario preestablecido iniciándose a las 8:00 horas A.M. y siguiendo durante todo el ensayo el mismo orden entre los animales. Se obtuvieron muestras diarias de todos los alimentos (Maíz rolado, Maíz extruído, Maíz molido y Pelet de alfalfa), y excretas (fecas y orina). Para fines operativos, las fecas se clasificaron entre fecas sucias y limpias y orinas.

3.6.1 Muestreo de alimentos De los diferentes tipos de maíz se tomaron muestras diarias de aprox. 200g, las cuales fueron guardas en un lugar seco dentro de bolsas de papel, para preparar una vez finalizada la prueba de digestibilidad una muestra compuesta representativa. Las muestras diarias de fecas y orina se comenzaron a obtener 48 horas antes de colección de fecas y orina por un periodo de siete días y se repitió en la segunda etapa de colección. El propósito de este desfase se debe a que en rumiantes la relación entre consumo y excreción está desplazada en alrededor de 48 horas. El muestreo de cubos de alfalfa se realizo utilizando la misma metodología.

3.6.2 Fecas limpias Las fecas por animal se colectaron en una lámina de plástico previamente tarada ubicada directamente sobre el piso detrás de cada animal, de tal modo de recoger la excreción diaria. El plástico con las fecas se pesó en una balanza electrónica de sensibilidad de 5 g, posteriormente las fecas de cada animal eran homogenizadas para obtener una muestra del 5% de la excreción diaria (350g aprox.). Estas muestras se acumularon en bolsas individuales por animal diariamente, y se mantuvieron en un congelador.

Al final de cada periodo de colección, las muestras individuales se homogenizaron nuevamente para obtener una muestra compuesta en duplicado por animal. Posteriormente las muestras, previa congelación eran sometidas a secado por liofilización en bolsitas Ziploc, obteniéndose el contenido de MS y efectuándose los análisis químicos correspondientes.

3.6.3 Fecas sucias Las fecas sucias, correspondieron a los remanentes adheridos al piso de la jaula, más una fracción que quedaba retenida en el paño de algodón ubicado sobre el recipiente utilizado en la recepción de orina para evitar su contaminación con fecas. La producción de fecas sucias se acumuló en bolsas individuales por animal para cada período de colección. Terminada cada prueba de digestibilidad se sometieron a secado en horno a 60 °C, para así sumarlas al valor obtenido de las fecas limpias y calcular la producción fecal total, sin mezclarlas.

3.6.4 Orina La orina fue colectada en un contenedor plástico previamente tarado ubicado directamente bajo cada animal. Sobre el contenedor se colocó un filtro (pañó de algodón) para evitar la contaminación de la orina con sustancias no deseadas. Diariamente se adicionaron 5 mL de formalina para evitar fermentaciones. La orina fue pesada diariamente en una balanza de 5g de sensibilidad, para posteriormente ser homogenizada y así obtener una alícuota del 1% de la producción, que se acumulaba en un frasco previamente identificado por animal, que se mantuvo en un congelador. Al final de cada período de colección las muestras, previa descongelación, se homogenizaron para la determinación de materia seca, densidad y energía bruta.

3.7 Análisis químico y determinaciones

Los análisis realizados en alimentos y excreciones se sintetizan en el cuadro 2.

CUADRO 2 Análisis de laboratorio

Análisis	Método	Referencias
Cenizas totales (CT)% de MS	Calcinación mufla a 550-660 ⁰ C por 5 horas. Calcinación mufla a 600 ⁰ C por 2 horas.	BATEMAN (1970) AOAC 16 ^a Edición. 1996 Método 942.05
Energía bruta (EB) kcal/gr	Calorímetro de bomba de oxígeno.	BATEMAN (1970) PARR INSTRUMENT COMPANY Manual N ^o 142
Fibra cruda (FC)% de MS	Digestión ácida y neutra	AOAC 16 ^a Edición. 1996 Método 978.10
Fibra de detergente ácido (FDA) % de MS	Digestión con detergente ácido	AOAC 16 ^a Edición. 1996 Método 973.18
Fibra de detergente neutro (FDN) % de MS	Digestión con detergente neutro	VAN SOEST et al. 1991
Materia seca (MS) %	Horno de ventilación forzada a 60 ⁰ 48 horas, estufa a 105 ⁰ C por 12 horas	BATEMAN (1970) AOAC 16 ^a Edición. 1996 Método 930.15
Proteína Bruta (PB)% de MS	Micro Kjeldhal (Nitrógeno*6,25)	BATEMAN (1970)

3.8 Determinación de la digestibilidad *in vivo*

Cálculos de la digestibilidad *in vivo*:

Se determinaron las siguiente variables con los datos obtenidos en el ensayo *in vivo*: DMS, DMO, ED, EM, valor D y DPB.

DMS:	digestibilidad de la materia seca
DMO:	digestibilidad de la materia orgánica
ED:	energía digestible
EM:	energía metabolizable
Valor D:	digestibilidad de la materia orgánica
DPB:	digestibilidad de la proteína bruta

Para la determinación de la digestibilidad de la materia seca se utilizó la siguiente relación general (MEISSNER, 1996).

$$\text{DMS (\%)} = \frac{(\text{CONSUMO (kg MS/día)} - \text{PROD. FECAL de MS (kg MS/día)})}{\text{CONSUMO(kgMS/día)}}$$

Para la determinación de la energía digestible, se empleó la relación (MEISSNER, 1996):

$$\text{ED} = (\text{EBc} - \text{EBe}) / (\text{MSc})$$

Donde:	ED: Energía digestible (Mcal/kg, BMS, liofilizador).
	EBc: Energía bruta consumida (Mcal, BMS, liofilizador).
	EBe: Energía bruta excretada (Mcal, BMS, liofilizador).
	MSc: Materia seca consumida (kg, BMS, liofilizador),

Para la determinación de la energía metabolizable se empleó la relación (MEISSNER, 1996):

$$EM = (EBc - (EBf + EBo + EBg)) / (MSc)$$

Donde: EM: Energía metabolizable (Mcal, BMS estufa o liofilizador)
 EBc: Energía bruta consumida (Mcal, BMS estufa o liofilizador)
 EBf: Energía bruta fecas (Mcal, BMS estufa o liofilizador)
 EBo: Energía bruta orina (Mcal, BMS refractometría)
 EBg: Energía bruta gases (Mcal, BMS estufa o liofilizador)
 MSc: Materia seca consumida (Kg, BMS estufa o liofilizador)

La producción fecal de energía se obtuvo a través de las siguientes relaciones (MEISSNER, 1996):

Energía fecas (Mcal): MS fecal (kg) * EB fecal (Mcal/kg)

Energía Orina (Mcal): MS orina (kg) * EB orina (Mcal/kg)

La energía en forma de gases (metano) se determinó mediante la ecuación de BLAXTER y CLAPERTON (1965).

$$CH_4 = 3.67 + 0.062 ED$$

Donde: CH₄= Metano (Expresado como % de la energía bruta consumida)
 ED= Energía digestible (% expresado como coeficiente)

El valor D *in vivo* se determinó de la siguiente forma (MEISSNER, 1996):

$$\text{Valor D: } (((\text{MSc} - \text{CT}) - (\text{PF} - \text{CF})) / (\text{MSc})) * 100$$

Donde: MSc: Materia seca consumida (kg, BMS estufa).
 CT: Cenizas totales en los alimentos (kg, BMS estufa).
 PF: Producción fecal (Mcal, BMS liofilizador).
 CF: Cenizas totales de las fecas (kg, BMS estufa).

3.9 Diseño experimental y análisis estadístico.

Los resultados obtenidos del presente estudio, se analizaron utilizando el diseño estadístico de sobre cambio con 2 periodos y tres tratamientos (GILL, 1981), de acuerdo con la ecuación 3.3.

$$Y_{iJK} = m + V_i + P_J + T_k + C_{iJK} \quad (3.3)$$

donde: Y_{iJK} :efecto de la variable dependiente
 m :efecto media poblacional
 V_i :efecto animal
 P_J :efecto periodo
 T_k :efecto tratamiento
 C_{iJK} :error experimental

A todos los datos obtenidos se les realizó un análisis de la varianza a un nivel de probabilidad de 0,05% y 0,10%, para ver si existen diferencias significativas en la digestibilidad *in vivo* en bovinos, de los maíces estudiados. Los cálculos efectuados se especifican en los correspondientes anexos.

4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 Composición de los alimentos estudiados

En el cuadro 3 se observa la composición química de los alimentos estudiados.

CUADRO 3 Composición química de los alimentos estudiados (BMS)

Alimentos	MS ¹ %	CT ² %	PB ³ %	EB ⁴ Kcal/g	EM ⁵ Mcal/Kg*	FDN ⁶ %	FDA ⁷ %
Maíz extruido	86,23	1,30	8,21	4,44	3,30	10,02	2,85
Maíz molido	85,25	1,29	7,91	4,44	3,34	11,72	2,78
Maíz Rolado	86,18	1,20	7,62	4,40	3,35	10,40	3,27
Alfalfa cubos	89,42	9,57	17,00	4,34	2,24	44,34	36,13

*Estimada *in vitro*; ¹ materia seca; ² cenizas totales; ³ proteína bruta; ⁴ energía bruta; ⁵ energía metabolizable; ⁶ fibra de detergente neutro; ⁷ fibra de detergente ácido.

Cabe destacar que el resultado de los análisis de laboratorio de los maíces arrojaron características homogéneas en relación a su composición química al igual que el de los cubos de alfalfa. Independientemente del método de procesamiento del grano de maíz los contenidos de proteína, energía, fibra, no difieren de manera predecible o consistente.

Los valores de energía metabolizable, estimados por digestibilidad *in vitro* son similares a los reportados en la literatura.

4.1.2 Digestibilidad *in vivo* de la ración total

CUADRO 4 Digestibilidad promedio ración total incluidos cubos de alfalfa como forraje acompañante (%)

Alimentos	DMS ¹ %	Valor D % ²	ED ³ %	EM ⁴ %	EM/ED ⁵	DPB ⁶ %	DFDN ⁷ %	DFDA ⁸ %
Maíz extruido, Cubos alfalfa	73,37 ^a	70,17 ^a	70,65 ^a	61,18 ^a	0,87 ^a	62,95 ^a	47,53 ^a	47,51 ^a
Desviación estándar (S)	2,24	2,18	2,34	2,39	0,01	3,59	4,16	5,9
Maíz molido, Cubos alfalfa	72,73 ^a	69,44 ^a	69,76 ^a	60,09 ^a	0,86 ^a	61,65 ^a	57,36 ^a	52,17 ^a
Desviación estándar (S)	2,24	2,18	2,34	2,39	0,01	3,59	4,16	5,9
Maíz Rolado, Cubos alfalfa	75,26 ^a	71,99 ^a	72,61 ^a	62,35 ^a	0,86 ^a	64,98 ^a	53,20 ^a	48,83 ^a
Desviación estándar (S)	2,24	2,18	2,34	2,39	0,01	3,59	4,16	5,9
Alfalfa cubos, testigo	61,97	56,48	59,5	48	0,81	69,33	49,87	50,25

Columnas con letras diferentes difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$); ¹ digestibilidad materia seca; ² MO digestible en la MS (MOD en MS); ³ energía digestible; ⁴ energía metabolizable; ⁵ relación EM/ED; ⁶ digestibilidad proteína bruta; ⁷ digestibilidad fibra de detergente neutro; ⁸ digestibilidad fibra de detergente ácido.

Cabe señalar que no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0.05$) entre las raciones, compuestas por cada uno de los maíces procesados en combinación con alfalfa, para la digestibilidad de los nutrientes o fracciones analizadas incluida la fibra. Por consiguiente, las digestibilidades de las raciones totales *in vivo* fueron homogéneas entre tratamientos.

4.1.3 Digestibilidad *in vivo* por tipo de maíz El cuadro 5 presenta las digestibilidades de los maíces, los cuales fueron determinados por diferencia utilizando el método señalado por Crampton *et al*, citados por BATEMAN (1970), utilizando la metodología indicada en materiales y métodos.

CUADRO 5 Digestibilidad promedio de los granos de maíz calculada por diferencia

	DMS ¹ %	DPB ² %	Valor D ³ %	ED ⁴ %	EM ⁵ %	EM/ED ⁶
Maíz extruido	88,08 ^a	54,76 ^a	87,33 ^a	86,16 ^a	75,48 ^a	0,88 ^a
Desviación estándar (S)	4,93	12,04	4,69	4,91	4,97	0,01
Maíz Molido	84,53 ^a	47,58 ^a	83,66 ^a	82,92 ^a	72,57 ^a	0,87 ^a
Desviación estándar (S)	4,93	12,04	4,69	4,91	4,97	0,01
Maíz Rolado	85,66 ^a	46,47 ^a	84,50 ^a	83,30 ^a	72,85 ^a	0,87 ^a
Desviación estándar (S)	4,93	12,04	4,69	4,91	4,97	0,01

Columnas con letras diferentes difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$); ¹ digestibilidad materia seca; ² digestibilidad proteína bruta; ³ MO digestible en la MS (MOD en MS); ⁴ energía digestible; ⁵ energía metabolizable; ⁶ relación EM/ED.

Como se aprecia en el cuadro 5, los valores de DMS%, Valor D%, ED%, EM%, EM/ED y DPB%, de los maíces tampoco difieren entre los diferentes tipos de maíz ($P \geq 0.005$).

4.1.4 Pérdidas metabólicas Las pérdidas metabólicas correspondientes a las eliminaciones de energía por metano, orina y fecas de las raciones que incluyeron los diferentes maíces se presentan en el cuadro 6.

CUADRO 6 Estimación de las pérdidas metabólicas de energía de las raciones en proporción de la energía bruta ingerida base seca en %.

Alimentos estudiados	Metano*	Orina	Fecas	Total
Maíz extruido	8,05 ^a	2,20 ^a	28,55 ^a	38,80 ^a
Maíz molido	8,00 ^a	2,43 ^a	29,47 ^a	39,90 ^a
Maíz rolado	8,17 ^a	2,57 ^a	26,90 ^a	37,63 ^a
Alfalfa cubos	7,39	4,15	40,48	52,02

Columnas con letras diferentes difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$); *La energía en forma de gases (metano) que determinada mediante la ecuación de BLAXTER y CLAPERTON (1965), ($CH_4 = 3.67 + 0.062 ED$).

De igual modo que lo encontrado para la digestibilidad, no se detectaron diferencias significativas ($P \geq 0,05$) en las pérdidas metabólicas de energía entre las diferentes raciones evaluadas.

4.2 Discusión

4.2.1 Composición química de los alimentos En el cuadro 3 se observa la composición química de los alimentos estudiados. En este se confirma lo señalado por SOTO *et al* (1991) que el grano de maíz en cualquiera de sus formas es un alimento que aporta principalmente energía a la dieta, teniendo un bajo tenor en fibra detergente ácido y un alto contenido de materia seca en relación a otros forrajes utilizados en el Sur de Chile.

Los bajos tenores de proteína de los maíces analizados concuerda con los rangos señalados en la literatura los cuales señalan niveles promedio entre 7,9 y 10% (PHIPPS *et al.* 1981).

La FDN de los maíces fluctuó entre 10 y 12% la cual determina el contenido de pared celular y la FDA mide el contenido de celulosa y lignina la cual tuvo rangos entre 2 y 4% (BONDI, 1988). Estos bajos tenores concuerdan con lo señalado por WEISS (1993), quien señala que la fibra es la variable más utilizada como relación para determinar el nivel de energía en la alimentación animal.

Sobre la Alfalfa se confirma lo dicho por PARGA y KLEIN, (1989), quienes señalan que la alfalfa destaca por su elevado contenido proteico y su elevado contenido de fibra. Estas características la convierten en un forraje ideal para balancear raciones con bajo contenido en fibra y proteína como.

4.2.2 Digestibilidad *in vivo* y valor energético Como muestra el cuadro 4 la digestibilidad de la ración total arrojó valores promedio inferiores en relación al maíz en sus distintas presentaciones, lo que era esperable dado los valores mas bajos de digestibilidad de la alfalfa, que al ser suministrada en conjunto con el maíz, baja los niveles promedios de digestibilidad. La digestibilidad de la ración completa (maíz y pelet de alfalfa) fué superior a la alfalfa suministrada como ración única entre 11,82 y 14,05%, en promedio para DMS, valor D, ED y EM.

La energía digestible y la energía metabolizable del maíz no presentó diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0,05$) entre los tratamientos arrojando valores promedio entre 82 y 87% para la energía digestible y valores entre 72 y 77% la energía metabolizable lo que concuerda con lo señalado por SOTO *et al.* (1981) y BUNTING *et al.* (1978).

La razón por la cual la EM de un alimento presenta un nivel porcentual menor que la ED, obtenida utilizando digestibilidad *in vivo*, es por los descuentos que se realizan dadas las perdidas energéticas por gases (Metano) y orina (KIRCHGENSSNER, 1992). En el presente estudio, la relación EM/ED obtenida (87-88%), es bastante superior al promedio correspondiente a raciones ricas en forrajes (82%), NRC, (2003) y refleja la menor producción de metano producto de una mayor fermentación propionica estimada para el maíz (GRAFICO 1).

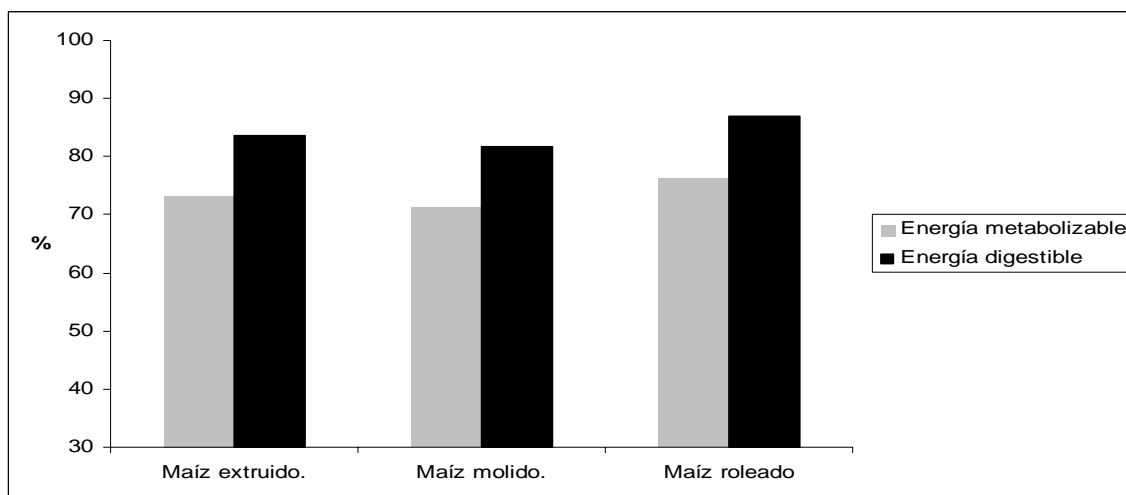


GRÁFICO 1 Porcentaje de energía metabolizable (EM) y energía digestible (ED) *in vivo* promedio en el grano de maíz.

CUADRO 7 Valores energéticos por tipo de maíz

Tipo Maíz	Maíz Rolado	Maíz extruido	Maíz Molido
Energía bruta Mcal/kg	4,40	4,44	4,44
Energía digestible Mcal/kg	3,65	3,78	3,64
Energía metabolizable Mcal/kg	3,17	3,30	3,20

ED= EB (Mcal/kg)*ED%; EM=EM (Mcal/kg)*EM%

Como se observa en el cuadro 7, los valores de EB, ED y EM no difirieron entre los tipos de maíz, lo cual es concordante con la similitud encontrada para la digestibilidad de la MS y la MO. Esta similitud es también esperable, dada la alta correlación existente entre la digestibilidad y metabolización de la energía con la digestibilidad de la MS y MO. Esto es concordante con lo señalado por ST-PIERRE *et al*, (1982) no reportándose diferencias estadísticamente significativas ($P \geq 0,05$) entre las energías, materia seca y materia orgánica de los maíces. Estas diferencias se ven respaldadas

por el alto valor de digestibilidad que posee el maíz con valores cercanos al 90% (NRC, 2003).

La digestibilidad de FDN (47-58%) y FDA (47-52%), en la ración total corresponde principalmente a la fibra de la alfalfa dado los bajos rangos de fibra presentes en el maíz (FDA 2,78 y 3,27% y FDN 10,02 y 11,72%), el aporte del maíz al total de la fibra es muy bajo, (17-18% de la FDN total) y de poco efecto en el calculo de la digestibilidad *in vivo*. En la literatura se encuentran valores similares de digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de FDN y FDA para la alfalfa como ración única (KLEIN, 1989; y BUSTILLOS 1990).

Considerando que el maíz representó un 50% de la ración total, y que sólo se observo una tendencia a menor digestibilidad de la fibra en los maíces procesados comparados con el maíz normal, no existieron diferencias significativas ($P \geq 0,05$). En condiciones practicas, en que el suministro de maíz es menor, no se debería esperar un efecto negativo de la extrucción o del rolado sobre la digestibilidad de la fibra del forraje de la dieta.

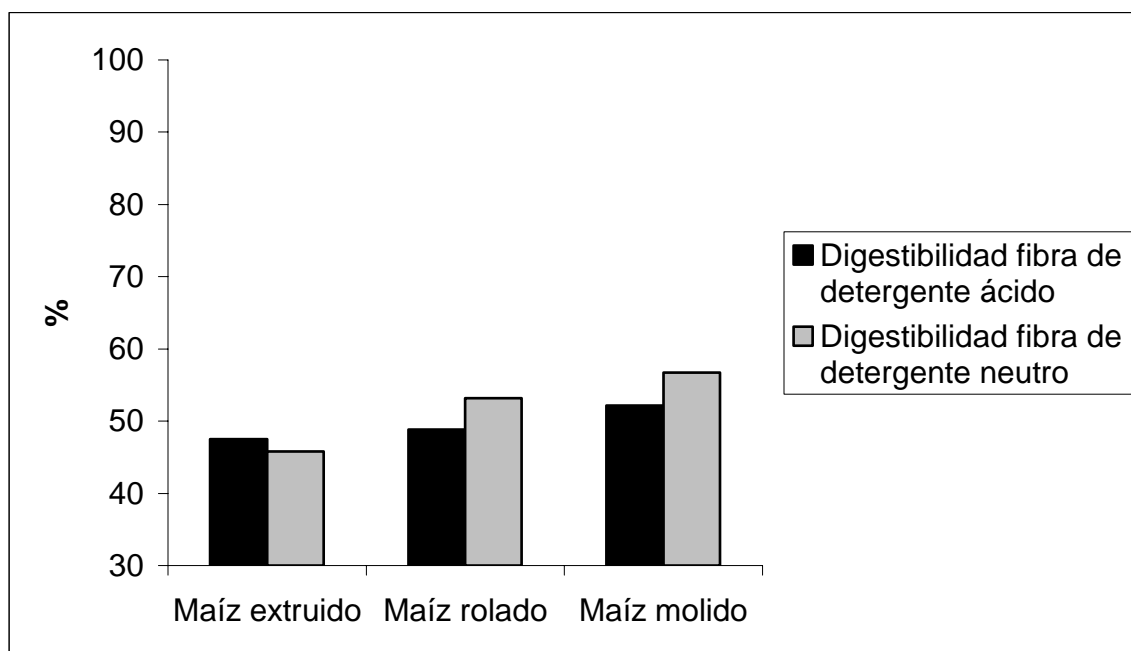


GRÁFICO 2 Digestibilidad de la FDA y FDN *in vivo* promedio ración total

Como podemos observar en el grafico 2 la digestibilidad de la FDN en relación a la FDA de las raciones experimentales fue un 6,5% mayor en promedio, lo que se explicaría porque la FDN, al contener la hemicelulosa posee una mayor proporción de fracción digestible que la FDA, compuesta solamente por celulosa y lignina.

SHABI *et al*, (1999) señalan en su trabajo que el procesamiento del maíz no afecta los niveles de digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica y materia seca lo que concuerda con los resultados obtenido en éste estudio, el cual no arrojó diferencias estadísticamente significativas entre dietas ($P \geq 0,05$), siendo indiferente el tipo de maíz utilizado en la digestibilidad *in vivo* .

4.2.3 Pérdidas metabólicas

En el Cuadro 6 se observan las pérdidas metabólicas divididas en pérdidas por gases (metano), fecas y orina en relación a la energía bruta consumida. Las mayores pérdidas metabólicas estuvieron en las fecas, seguidos por las pérdidas de gases (metano) y por las de la orina, lo cual concuerda con lo señalado por McDONALD *et al.* (1979) y MOSS *et al.* (1992). Cabe señalar que para los tres tipos de maíz estudiados (rolado, extruido y molido), las pérdidas promedio expresadas en % de las pérdidas totales de energía, en términos generales fueron para las fecas de 75%, para metano de 20% y orina de 6%.

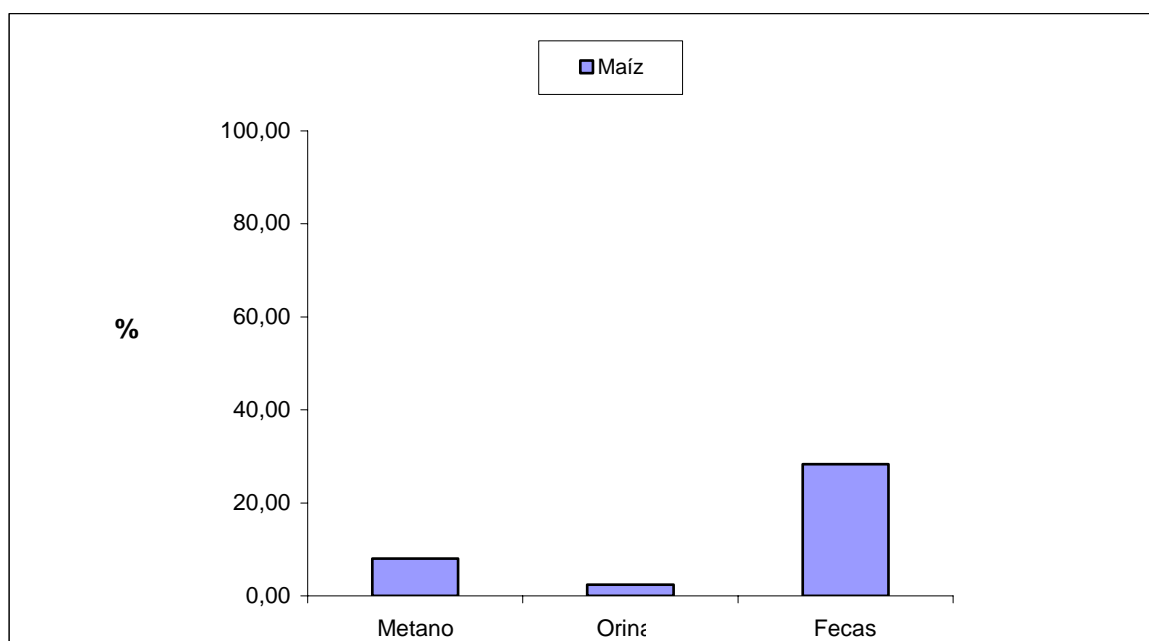


GRÁFICO 3 Pérdidas metabólicas promedio, como porcentaje de la EB total ingerida para la ración compuesta por maíz extruido, rolado y molido

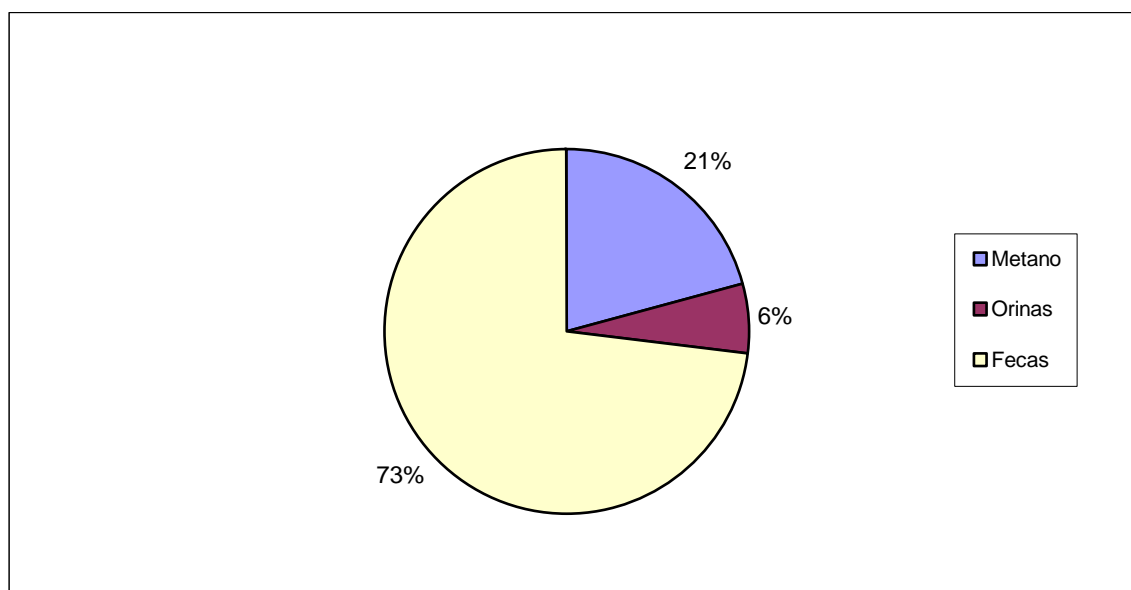


GRÁFICO 4 Pérdidas metabólicas promedio del total de pérdidas de energía

Estas pérdidas, fecales, metano y orina al ser expresadas en proporción de la energía bruta total ingerida representaron un 28,3%, 81% y 2,4% respectivamente grafico 4.

Las pérdidas de energía en forma de orina, fluctuaron en promedio en un rango de 2,2 y 2,5% en relación a la energía bruta total ingerida, y se encuentran en los valores esperados según GIVENS *et al.* (1989), y MOSS *et al.* (1992) que señalan pérdidas cercanas a 2,2 a 2,5%.

Es conveniente señalar que las pérdidas por gases se componen principalmente de metano y son producto de la fermentación de celulosa, pentosanas, almidón y otros carbohidratos en general (MORRISON, 1956). A partir de las estimaciones de la ecuación de BLAXTER y CLAPPERTON (1965), se obtuvieron las pérdidas de energía como metano en relación a la energía bruta total ingerida, de 8% en promedio, lo que concuerda con lo señalado por STARK *et al.*, (1989), McDONALD *et al.*, (1979) y KIRCHGESSNER (1992),

siempre y cuando se alimentara a los animales a nivel de mantención, como fue lo utilizado en el ensayo o con una proporción alta de concentrados.

5 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, obtenidos utilizando digestibilidad *in vivo* por colección total con bovinos, y constituyendo el maíz un 50% de la ración total en combinación con alfalfa, se pueden derivar las siguientes conclusiones:

- No se detectó un efecto del procesamiento del grano de maíz (extruido, rolado al vapor, molido) sobre la digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica de la ración total ni de los maíces solos.
- Tampoco se detectó efecto del procesamiento sobre la digestibilidad de la energía (ED) ni la energía metabolizable (EM), ni sobre las pérdidas de energía por fecas, metano y orina.
- Solo se encontró una tendencia a una menor digestibilidad de la fibra (FDN, FDA) al incorporar maíz extruido, en relación al maíz normal y rolado que no fue significativa ($P \geq 0,05$).
- Los resultados concuerdan con otros estudios que demuestran que el procesamiento térmico del maíz , debiera influir en la proporción que es fermentada en el rumen en relación a la digerida en el intestino, más que en la digestibilidad medida a nivel del tracto total.

6 RESUMEN

El presente estudio se realizó durante los meses de septiembre y octubre del año 2003 en la Estación Experimental “Vista Alegre” perteneciente a la Universidad Austral de Chile, ubicada a 5 Km al norte de la ciudad de Valdivia, con una duración de la etapa experimental de treinta días.

Los objetivos de este estudio fueron evaluar la digestibilidad *in vivo* del maíz sometido a tres procesos diferentes: rolado al vapor, extruido y molienda simple (triturado). Las variables que se estudiaron *in vivo*, fueron: DMS, DMO, ED, EM, valor D y DPB, para lo cual se utilizaron bovinos (terneros machos, con un peso inicial promedio de 120Kg).

La evaluación de la digestibilidad se efectuó en dos pruebas de metabolismo consecutivas utilizando un total de 12 terneros (tres terneros por cada tratamiento). Los tratamientos estuvieron determinados por los tres tipos de maíz, en combinación con cubos de alfalfa. Conjuntamente se determinó la digestibilidad de los cubos de alfalfa como dieta única con el mismo número de animales. Los animales fueron ubicados en jaulas metabólicas, diseñadas y acondicionadas especialmente para este tipo de estudio, las cuales permiten realizar mediciones individuales de consumo y de producción de fecas y orina. La energía en forma de gases se estimó a través de la ecuación de Blaxter y Calpperton.

La digestibilidad de las raciones y de los maíces separadamente fueron homogéneas entre tratamientos no arrojando diferencias estadísticamente significativas ($P \geq 0.05$) entre sí para materia seca, materia orgánica, fibra (FDN, FDA), energía (EM, ED).

SUMMARY

The following study was performed during the months of September and October of 2003. The study took place on the experimental farm, Vista Alegre, property of Universidad Austral de Chile, during a period of approximately 30 days. The farm is located five kilometers to the north of the city Valdivia.

The objectives of the study were to evaluate the *in vivo* digestibility of corn under three different processes: Steam Flaking, Extrusion, and Grinding (Crushing). The variables under study were: Dry Matter Digestibility (DMD), Organic Matter Digestibility (OMD), Digestible Energy (DE), Metabolic Energy (ME), D value, and Gross Protein Digestibility (GPD); utilizing beef cattle (males with an initial weight of 120kg).

The digestibility evaluation was carried out in two consecutive metabolism trials using 12 bulls in total; three for each treatment. The treatments were consistend of the three types of corn, and were mixed with alfalfa pellets. To standardize the effects of alfalfa consumption, a separate group of bulls, of equal size and number, received only alfalfa. The animals were placed in metabolic crates which allowed individual collections of urine and feces. Energy in the form of gas was estimated with the equation developed by Blaxter and Clapperton.

The digestibilities of he ration and the different corns did not show statistically significant differences ($P \geq 0.05$) among the three types processing of corn for Dry Matter (DM), Organic Matter (OM), Energy (DE, ME), Fiber (NDF, ADF).

7 BIBLIOGRAFÍA

- AGUILA, H. 1979. Pastos y empastadas. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 314p.
- ALDRICH, S. y LENG, E. 1974. Producción moderada del Hemisferio Sur. S.R.L., Buenos Aires, Argentina 308p.
- ANDERSON, M.J. 1976. Factors that influence nutritive value of irrigated alfalfa forage. Pp. 204-211. In: Proceeding, First International Symposium Feed Composition Animal Nutrient Requeriments and Computarization of Diets. Utah State University, Logan, Utah, USA. 318p.
- ANRIQUE, R. 1994. Avances en valoración de alimento para rumiantes. In: Producción Animal. Fondo de Investigación Agropecuaria, Ministerio de agricultura, Valdivia, Chile. 57p.
- _____. MOREIRA, V., DUMONT, J. y ALOMAR, D. 1996. Valor energético de ensilajes de corte directo en la zona sur. *In*: Producción Animal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Serie B-19. pp. 131-134.
- AYLWIN, P. 1987. Validación del método de digestibilidad *in situ* y su comparación con el método *in vitro* y de digestibilidad aparente. Tesis Licenciatura Agronomía, Universidad de Chile, Escuela de Agronomía, Santiago, Chile. 75p.

- BARGO, F., PIERONI, G. y REARTE, D.H. 1998. Milk production and ruminal fermentation of grazing dairy cows supplemented with dry ground corn or steam – flaked corn. *Journal of Dairy Science*. 81(1): 335-340.
- BARNES, R y MARTEN, G. 1979. Recent developments in predicting forage quality. *Journal of animal Science*. 48 (6): 1554-1561.
- BATEMAN, J. 1970. Nutrición Animal, manual de métodos analíticos. Herrero hermanos, Ciudad de México, México. 468p.
- BLAXTER, K. y CLAPPERTON, J. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition*. 19: 511-522.
- BONDI, A.1988. Nutrición Animal. Acribia, Zaragoza, España. 410p.
- BRUETSCH, T. y ESTES, G. 1976. Genotype variation in nutrient uptake efficiency in corn. *Agronomic Journal*. 64: 521-523.
- BRZOSKA, F y MUCHA, S. 1983. Chemical composition and feeding value of maize straw for ruminants. *Roczniki Naukowe Zootechniki*. 10(1): 123-133.
- BUNTING, E. 1975. The question of grain content and forage quality in maize: Comparisons between isogenic fertile and sterile plants. *Journal of Agriculture Science*. 85: 455-463.
- BUNTING, E.S., PAIN, B.F., PHIPPS, R.H., WILKINSON, J.M. y GUN, R.E. 1978. Forage Maize, Production and Utilization. The Whitefairs Press Ltd. London and Cambridge, Great Britain. 346p.

- BUSTILLO, E. 1990. Heno de calidad, sinónimo de beneficio. *In*: Soto P. (Ed.). Seminario Producción y utilización de alfalfa zona centro Sur y Sur. Chillan, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Quilamapu. Serie Quilamapu N°24: 238-248.
- BYERS, J. y ORMISTON, E. 1964. Feeding value of mature corn silage. *Journal of Dairy Science*. 47: 707.
- CERDA, D., MANTEROLA, H., y SIRHAN, L. 1986. Validación y estudios comparativos de métodos estimadores de la digestibilidad aparente de alimentos para rumiantes. II Estudio comparativo de los métodos *in vitro* e *in situ* como predictores de la digestibilidad aparente. *Avances en Producción Animal*. 11 (1-2): 53-62.
- CHURCH, D. 1974. Digestive physiology and nutrition of ruminants. Volumen III. Practical nutrition. Third Edition. Albany Printing Co. Albany, Oregon, Estados Unidos. 512p.
- CHURCH, D. y POND, W. 1977. Bases científicas para la nutrición y alimentación de los animales domésticos. Acribia, Zaragoza, España. 462p.
- CORREA, G. 1978. Alfalfa. SAG/CEDITEC. Santiago, Chile. 107 p.
- DEMARQUILLY, C. 1969. Valeur alimentaire du maïs fourrage. I. Composition chimique et digestibilité du maïs sorpié. *Annales Zootechniques*. 18(1): 17-32.

- DUST, J., GAJADA, A., FLICKINGER, E., BURKHALTER, T., MERCHEN, N. y FAHEY, G. 2004. Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of selected food ingredients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 2989-2996.
- GIVENS, D., EVERINGTO, J. y ADAMSON, A. 1989. The digestibility and metabolisable energy content of grass silage and their prediction from laboratory measurements. *Animal Feed Science and Technology*. 24: 27-43.
- GOERING, H. y VAN SOEST, P. 1972. Análisis de fibra de forrajes; aparatos, reactivos, procedimientos y algunas aplicaciones. Tr. Danilo Pezo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 41p.
- HELD, A. 1994. Energía digestible y metabolizable *in vivo* de ensilajes de maíz de dos variedades de diferente precocidad. Tesis Licenciatura Agronomía, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile. 66p.
- HUNTINGTON, G.B. 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of Animal Science*. 75: 852-867.
- ILLANES, R. 1989. Estudio comparativo de las digestibilidades *in vivo*, *in situ* y enzimático para siete forrajes de uso común en rumiantes. Tesis Licenciatura Ingeniero Agronomo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile. 108p.

- ISHIDA, T., KURIHARA, M., ARATA, N., NISHIDA, T., PURNOMOHADI, A., AOKI, M., TANAKA, Y., KOHNO, Y. y ABE, A. 1997. Comparative feeding values of whole-shelled or whole steam-rolled corn and whole-shelled or whole steam-rolled barley for dairy cattle. *Bulletin of National Institute of Animal Industry*. 58: 9-17.
- JUNG, G.A. y LARSON, K.L. 1972. Tolerancia al frío, la sequía y el calor. 236-260. In: Hanson, C.H. Ciencia y tecnología de la alfalfa. Tomo I, Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay. 389p.
- KILKENMY, J. 1990. Utilization of silage for beef production. In: Improvement of quality trials of maize for grain and silage use. POLLMER, W. y PHIPPS, R. (Eds.), European Community Comission, Bruselas. 505p.
- KIRCHGESSNER, M. 1992. Tierernährung. DLG-Verlag Frankfurt, Alemania. 533p.
- KLEIN, F. 1989. Alternativas de alimentación para enfrentar el período estival en un sistema productivo de leche. 61-97. In: Bartolameolli G. (Ed.). Seminario Aspectos Técnicos y Perspectivas de la Producción de Leche. INIA, Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile. 243 p.
- LANGENBACH, J. 1983. Comportamiento de cuadros variedades de maíz forrajero bajo diferentes sistemas de utilización. Tesis Lic. Agr., Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile. 66p.

- MACCIO, G. 1985. Productividad del maíz para ensilaje en base a sistemas de labranza, densidades de plantas y distanciamiento entre hileras. Tesis Licenciado Ingeniería Agronómica Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile. 98p.
- MARTINEZ, G. 1985. Pastoreo en alfalfa. Su uso oportuno es básico para la recuperación de la planta. Investigación y Progreso Agropecuario. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Quilamapu, Chile. *Investigación y Progreso Agropecuario*. 25: 10-16.
- MAYNARD, L. 1955. Nutrición animal. Unión Tipográfica Hispano Americana, Ciudad de México, México. 484p.
- MC ALLAN, A. y PHIPPS, R. 1977. The effects of sample date and plant density on the carbohydrate content of forage maize and the changes that occur on ensiling. *Journal of Agricultural Science*. 89: 589-597.
- Mc DONALD, P., EDWARD, R. y GREENHALGH, J. 1979. Nutrición animal. Acibia, Zaragoza, España. 462p.
- MOREIRA, V. 1995. Predicción de la digestibilidad y energía (EM, DE) *in vivo* de ensilajes de pradera permanente entres estados fenológicos, a partir de parámetros químicos y biológicos. Tesis Magíster en Ciencias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. 123p.
- MOREIRA, V., DUMONT, J. y ALOMAR, D. 1996. Valor energético de ensilajes de corte directo en la zona sur. In: Producción Animal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal, Valdivia, Chile, Serie B19, 131-144.

- MORRISON, F. 1956. Compendio de alimentación del ganado. UTEHA, Ciudad de México, México. 721p.
- MOSS, A., GIVENS, D. y PHIPPS, R. 1992. Digestibility and energy value of combinations of forage mixtures. *Animal Feed Science and Technology*, 39: 151-172.
- NRC (2003). National Research Center, www.nrc.org.
- MUÑOS, R. y MOMBERG, R. 1989. Análisis comparativo de diez variedades de alfalfa en la provincia de Osorno Xª Región. Tesis Perito Agrícola, Instituto Profesional Agrario, Fundación "Adolfo Matthei", Osorno. 83p.
- MUSLERA, P.E. y RATERA, G.C. 1984. Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 702p.
- OJEDA, W. 1977. Efectos del estado de corte y la densidad poblacional en el rendimiento y calidad nutritiva de tres híbridos de maíz forrajero en Valdivia. Tesis Ing. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile. 62p.
- ORSKOV, E.R. y McDONALD, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science*, 92: 499-503.
- PARGA, J. y KLEIN, F. 1989. La alfalfa como pradera suplementarios para el verano en la Xª Región, Remehue, Chile. *Investigación y Progreso Agropecuario*. 10: 44-48.

- PERRY, T., CALDEWELL, D., REEDAL, J. y KNODI, C. 1968. Stage of maturity of corn at time of harvest for silage and yield of digestible nutrients. *Journal of Dairy Science*. 51(5): 799-802.
- PHIPPS, R. 1990. A review of the carbohydrate digestibility value of forage maize grown in the cool climatic condition of UK and their relevance to animal production. In: Improvement of quality trials of maize for grain and silage use. POLLMER, W. y PHIPPS, R. (Eds.), European Community Comission, Bruselas, Belgica. 505p.
- RYMER, C. 2000. The Measurement of Forage Digestibility *In Vivo*- Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. Ed., D.I. Givens, E. Owen, R.F. Axford and H.M. Omed. CABI
- RIVEROS, E. 1986. Digestibilidad de los forrajes como expresión de su valor nutritivo. *Avances en Producción Animal*. (11) 1-2: 3-25.
- SILVA, M., CERDA, D. y WERNLY, C. 1984. Evaluación del método de digestibilidad *in vitro* para algunos forrajes en la zona central de Chile. *Avances en Producción Animal*. 9: 43-50.
- SIMON, M. 1992. Efecto de aditivos estimulantes, inhibidores y absorbentes, sobre la digestibilidad del ensilaje en terneros rumiantes. Tesis Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile. 53p.
- SMITH, T. y FULFORD, R. 1981. Protein studies on maize silage as a basal ration for dairy cows. *Journal of Agricultural Science*. 96: 283-290.

- SOTO, H., FÖLICH, W., WITTKE, E. y KUNSTMANN, E. 1981. Producción de maíz para forraje. Agroindustrial COVAL S.A., Valdivia, Chile. 36p.
- SOTO, P. 1983. Alfalfa. Recomendaciones para su establecimiento en la zona Centro Sur de riego. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Quilamapu, Chile. *Investigación y Progreso Agropecuario*. 17: 2-9.
- SPEEDIG, C.R.W. y DIEKMAHNS, E.C. 1972. Grasses and Legumes in British Agriculture. Grassland Research Institute, Hurley, Inglaterra. 511p.
- STACK, B., WILKINSON, J. y GIVENS, D. 1989. Ruminant feed evaluation and utilisation. Chalcombe Publications, London and Cambridge, Inglaterra. 108p.
- ST-PIERRE, N., BOUCHARDT, R., SAINT LAURENT, G., VINET, C. y ROY, G. 1983. Effects of stage of maturity and frost on nutritive value of corn silage for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 66: 1466-1473.
- TILLEY, J. y TERRY, R. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*. 18: 104-111.
- UYTTENDAELE, P. 1990. Utilización de ensilajes de maíz para la producción lechera. In: Seminario, Producción y utilización de ensilaje de maíz en la Región de Los Lagos, Instituto de Investigación Agropecuaria, Osorno, Chile, Serie Remehue Numero 12. 123p.
- WALDO, D.R. 1973. Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. *Journal of Animal Science*. 37: 1062-1074.

- WEAVER, D., COPPOCK, C., LAKE, G. y EVERETT, R. 1978. Effect of maturation on composition and “*in vitro*” dry matter digestibility of corn plant parts. *Journal of Dairy Science*. 61: 1782-1788.
- WEISS, W. 1993. Predicting energy values of feeds. Symposium: Prevailing concepts in energy utilization by ruminants. *Journal of Dairy Science*. 76: 1802-1811.
- WELLER, R. 1979. The development of plant components and effects on the composition of fresh and ensiled forrage maize. 1. The accumulation of dry matter. Chemical composition and nutritive value of fresh maize. *Journal of Agricultural Science*. 92: 471-483.
- WILKINSON, J. 1978. The ensiling of forrage maize: Effects on composition and nutritive value. In: BUNTING, E.S., PAIN, B.F., PHIPPS, R.H., WILKINSON, J.M. y GUNN, R.E. Forrage maize: production and utilization. The Whitefairs Press, London and Cambridge, Inglaterra. 198p.

ANEXOS

ANEXO 1

Peso fecas limpias de bovino, colección diaria, primer periodo (gramos, btc)

Periodo 1	día	1	2	3	4	5	6	7	Total (BTC ^a)	Promedio (BMS ^b)
33 Alfalfa	Fecas	4350	4200	4500	3665	3515	4135	3715	28080	793,974
65 Alfalfa	Fecas	3260	3520	3505	3940	3395	3495	3900	25015	801,498
69 Alfalfa	Fecas	4610	5660	5025	4565	4605	4235	4140	32840	837,413
68Maíz Ex.	Fecas	2675	2490	1950	1600	1745	1995	2355	14810	537,495
38Maíz Ex.	Fecas	2830	2745	2650	3665	2225	2555	3150	19820	566,677
23Maíz Ex.	Fecas	2755	2520	3035	3505	1888	4295	3185	21183	628,995
5034 Maíz Mo.	Fecas	1855	2690	2815	2095	2650	1885	2445	16435	551,604
55 Maíz Mo.	Fecas	2470	2350	2875	2320	2785	2230	3595	18625	628,977
5027 Maíz Mo.	Fecas	2015	2075	2505	2170	2030	2335	2650	15780	593,157
36 Maíz Ro.	Fecas	2100	2385	2365	2355	1815	1975	2215	15210	504,062
59 Maíz Ro.	Fecas	1970	2265	2380	2395	1730	2260	1645	14645	526,978
5032 Maíz Ro.	Fecas	3420	3200	3420	2540	3205	2830	2685	21300	645,670

^a base tal cual^b base materia seca

ANEXO 2

Peso fecas limpias de bovino, colección diaria, segundo periodo (gramos, btc)

Periodo 2	día	8	9	10	11	12	13	14	Total (BTC ^a)	Promedio (BMS ^b)
33 Alfalfa	Fecas	4105	3430	3515	3855	3750	3480	4130	26265	880,018
65 Alfalfa	Fecas	3480	3360	3190	3635	4045	3305	3730	24745	915,250
69 Alfalfa	Fecas	4005	4180	4370	4480	3805	3900	3990	28730	953,282
68Maíz Ro.	Fecas	2195	2110	1915	1640	2110	1995	1700	13665	517,689
38Maíz Ro.	Fecas	2285	2510	2245	2140	2260	2225	2510	16175	576,105
23Maíz Ro.	Fecas	2860	2370	2380	2030	2785	1710	3050	17185	551,036
5034 Maíz Ex.	Fecas	3725	3210	3370	2150	2280	2640	2400	19775	649,873
55 Maíz Ex.	Fecas	2350	2690	2400	2795	2790	2335	2485	17845	611,427
5027 Maíz Ex.	Fecas	2095	1590	2570	1625	2560	1670	2425	14535	559,083
36 Maíz Mo.	Fecas	2010	1925	2345	2520	2710	1965	2065	15540	572,393
59 Maíz Mo.	Fecas	2460	2430	2685	1605	2510	2885	2755	17330	677,831
5032 Maíz Mo.	Fecas	2150	2820	1930	2440	2395	1910	2805	16450	639,069

^a base tal cual^b base materia seca

ANEXO 3

Peso promedio fecas sucias de bovino, colección diaria de los dos periodos
(gramos, btc)

	Periodo 1			Periodo 2	
	Total (BMS)	Promedio día (BMS ^a)		Total (BMS ^a)	Promedio día (BMS ^a)
33 Alfalfa	70,989	10,141	33 Alfalfa	13,282	1,897
65 Alfalfa	134,702	19,243	65 Alfalfa	97,214	13,888
69 Alfalfa	114,893	16,413	69 Alfalfa	141,426	20,204
68Maíz Ex.	299,889	42,841	68Maíz Ro.	76,378	10,911
38Maíz Ex.	30,486	4,355	38Maíz Ro.	13,792	1,970
23Maíz Ex.	90,106	12,872	23Maíz Ro.	49,114	7,016
5034 Maíz Mo.	188,009	26,858	5034 Maíz Ex.	169,277	24,182
55 Maíz Mo.	286,713	40,959	55 Maíz Ex.	122,555	17,508
5027 Maíz Mo.	137,668	19,667	5027 Maíz Ex.	324,416	46,345
36 Maíz Ro.	103,142	14,735	36 Maíz Mo.	364,314	52,045
59 Maíz Ro.	458,158	65,451	59 Maíz Mo.	164,237	23,462
5032 Maíz Ro.	119,110	17,016	5032 Maíz Mo.	131,695	18,814

^a base tal cual

ANEXO 4

Peso promedio orina de bovino, colección diaria, primer periodo (gramos, btc)

Periodo 1	día	1	2	3	4	5	6	7	Promedio (BTC ^a)	Promedio (BMS ^b)
33 Alfalfa	Orina	4285	6375	6000	4895	2060	5175	5100	33890	164,609
65 Alfalfa	Orina	2360	2840	3285	3120	3730	3505	3500	22340	172,337
69 Alfalfa	Orina	1950	4075	4005	3375	3505	3495	3830	24235	180,031
68Maíz Ex.	Orina	1400	1830	2380	2540	2020	1875	1440	13485	80,910
38Maíz Ex.	Orina	2050	3380	2515	2040	3200	3280	2265	18730	107,029
23Maíz Ex.	Orina	1605	480	860	2090	940	600	290	6865	52,959
5034 Maíz Mo.	Orina	3145	3005	2395	3025	3225	2130	2075	19000	108,571
55 Maíz Mo.	Orina	1030	935	1975	2210	1585	3110	1780	12625	93,786
5027 Maíz Mo.	Orina	3995	2900	3750	1455	3630	4470	5640	25840	103,360
36 Maíz Ro.	Orina	2565	1340	1455	1335	1275	1590	1815	11375	71,500
59 Maíz Ro.	Orina	3725	3245	4970	3130	3245	3310	2005	23630	128,277
5032 Maíz Ro.	Orina	4085	2915	5195	6145	5370	6780	6180	36670	104,771

^a base tal cual^b base materia seca

ANEXO 5

Peso promedio orina de bovino, colección diaria, segundo periodo (gramos, btc)

Periodo 2	día	8	9	10	11	12	13	14	Promedio (BTC ^a)	Promedio (BMS ^b)
33 Alfalfa	Orina	5230	5200	3210	4185	3525	3370	6240	30960	221,143
65 Alfalfa	Orina	3715	3185	2815	3795	3730	3570	3765	24575	217,664
69 Alfalfa	Orina	2680	3930	3300	4750	3340	3030	6855	27885	231,047
68Maíz Ro.	Orina	2680	3585	2580	1950	3455	1795	5480	21525	123,000
38Maíz Ro.	Orina	2870	2510	1785	1530	2075	3170	3095	17035	116,811
23Maíz Ro.	Orina	1355	465	1030	1150	670	1250	2220	8140	81,400
5034 Maíz Ex.	Orina	2235	2175	2500	2260	2040	1600	1780	14590	108,383
55 Maíz Ex.	Orina	1975	1905	1370	1505	1585	1485	970	10795	95,613
5027 Maíz Ex.	Orina	5010	3055	3495	5070	4110	4055	9530	34325	98,071
36 Maíz Mo.	Orina	1325	1525	1215	2305	1620	1330	2610	11930	47,720
59 Maíz Mo.	Orina	5210	1610	1610	1810	1790	1620	6210	19860	124,834
5032 Maíz Mo.	Orina	8310	5920	2925	6940	4010	2045	9830	39980	137,074

^a base tal cual^b base materia seca

ANEXO 6

Composición química de las fecas limpias de bovino colectadas diariamente,
primer periodo (BMS, liofilizador)

Periodo 1	MS %	CT %	PB %	EB Kcal/g	FDN %	FDA %
33 Alfalfa	18,520	10,210	13,320	4,630	59,640	45,840
65 Alfalfa	20,752	10,800	13,280	4,590	58,930	47,400
69 Alfalfa	16,417	11,110	14,700	4,570	57,100	45,300
68 Maíz Ex.	22,160	8,770	17,740	4,670	55,610	40,130
38 Maíz Ex.	18,639	9,200	19,160	4,750	51,360	38,660
23 Maíz Ex.	19,142	8,730	17,100	4,700	56,200	39,360
5034 Maíz Mo.	20,960	7,970	16,810	4,720	48,260	35,680
55 Maíz Mo.	20,803	8,570	17,150	4,660	42,980	32,970
5027 Maíz Mo.	24,066	8,800	18,620	4,700	44,700	35,410
36 Maíz Ro.	21,110	9,460	18,990	4,720	51,830	40,640
56 Maíz Ro.	20,650	8,940	19,250	4,800	48,460	39,640
5032 Maíz Ro.	19,311	6,600	15,690	4,680	56,120	40,340

ANEXO 7

Composición química de las fecas limpias de bovino colectadas diariamente,
segundo periodo (BMS, liofilizador)

Periodo 2	MS %	CT %	PB %	EB %	FDN %	FDA %
33 Alfalfa	22,118	10,360	13,440	4,640	58,680	48,610
65 Alfalfa	24,014	11,140	13,040	4,650	58,460	48,940
69 Alfalfa	21,493	10,840	14,470	4,670	57,770	46,710
68Maíz Ro.	24,480	8,790	17,900	4,810	52,580	42,050
38Maíz Ro.	23,423	9,670	17,740	4,840	51,150	42,080
23Maíz Ro.	20,923	10,200	16,200	4,710	53,310	43,350
5034 Maíz Ex.	20,970	8,400	18,940	4,690	51,420	38,010
55 Maíz Ex.	21,890	8,950	18,330	4,720	53,660	37,410
5027 Maíz Ex.	23,323	8,390	15,330	4,740	57,550	41,210
36 Maíz Mo.	21,130	7,950	17,350	4,850	45,750	37,010
59 Maíz Mo.	24,880	7,690	17,890	4,770	40,920	33,100
5032 Maíz Mo.	24,842	8,130	17,980	4,780	44,520	34,670

ANEXO 8

Composición química de las fecas limpias de bovino colectadas diariamente, en promedio (BMS, liofilizador)

Periodo 1	MS %	CT %	PB %	EB Kcal/g	FDN %	FDA %
Alfalfa	18,563	10,707	13,767	4,597	58,557	46,180
Maíz Ex.	19,980	8,900	18,000	4,707	54,390	39,383
Maíz Ro.	21,943	8,447	17,527	4,693	45,313	34,687
Maíz Mo.	20,357	8,333	17,977	4,733	52,137	40,207
Periodo 2						
Alfalfa	22,542	10,780	13,650	4,653	58,303	48,087
Maíz Ro.	22,942	9,553	17,280	4,787	52,347	42,493
Maíz Ex.	22,061	8,580	17,533	4,717	54,210	38,877
Maíz Mo.	23,617	7,923	17,740	4,800	43,730	34,927

MS = Materia seca base liofilizador

CT = Cenizas totales

PB = Proteína bruta

EB = Energía bruta

FDN = Fibra de detergente neutro

FDA = Fibra de detergente ácido

ANEXO 9

Determinaciones realizadas a la orina de bovino

Periodo 1	MS % (Refractométrica)	EB Kcal/g	Orinas BTC(g)	Promedio (BMS)
33 Alfalfa	3,400	1,950	33890	164,609
65 Alfalfa	5,400	2,020	22340	172,337
69 Alfalfa	5,200	1,970	24235	180,031
68 Maíz Ex.	4,200	2,490	13485	80,910
38 Maíz Ex.	4,000	2,350	18730	107,029
23 Maíz Ex.	5,400	2,550	6865	52,959
5034 Maíz Mo.	4,000	2,230	19000	108,571
55 Maíz Mo.	5,200	2,240	12625	93,786
5027 Maíz Mo.	2,800	2,150	25840	103,360
36 Maíz Ro.	4,400	2,080	11375	71,500
56 Maíz Ro.	3,800	2,280	23630	128,277
5032 Maíz Ro.	2,000	2,090	36670	104,771
Periodo 2				
33 Alfalfa	5,000	1,880	30960	221,143
65 Alfalfa	6,200	1,910	24575	217,664
69 Alfalfa	5,800	2,000	27885	231,047
68 Maíz Ro.	4,000	2,390	21525	123,000
38 Maíz Ro.	4,800	2,180	17035	116,811
23 Maíz Ro.	7,000	2,490	8140	81,400
5034 Maíz Ex.	5,200	2,240	14590	108,383
55 Maíz Ex.	6,200	1,890	10795	95,613
5027 Maíz Ex.	2,000	2,080	34325	98,071
36 Maíz Mo.	2,800	2,140	11930	47,720
59 Maíz Mo.	4,400	2,070	19860	124,834
5032 Maíz Mo.	2,400	2,310	39980	137,074

ANEXO 10

Pérdidas metabólicas como % de la energía bruta total ingerida, durante los dos periodos, por parte de los bovinos en estudio

Periodo 1	Metano	Orina	Fecas	Total
33 Alfalfa	7,6	3,4	37,3	48,3
65 Alfalfa	7,6	3,7	37,4	48,7
69 Alfalfa	7,5	3,8	38,5	49,8
68 Maíz Ex.	8,2	2,2	25,8	36,2
38 Maíz Ex.	8,1	2,7	27,3	38,1
23 Maíz Ex.	8,0	1,5	30,0	39,5
5034 Maíz Mo.	8,2	2,6	26,6	37,4
55 Maíz Mo.	8,0	2,3	30,1	40,3
5027 Maíz Mo.	8,0	2,4	28,7	39,1
36 Maíz Ro.	8,3	1,6	24,2	34,2
56 Maíz Ro.	8,2	3,2	25,9	37,3
5032 Maíz Ro.	7,9	2,4	30,7	41,0
Periodo 2				
33 Alfalfa	7,3	4,5	41,4	53,2
65 Alfalfa	7,2	4,5	43,1	54,7
69 Alfalfa	7,1	5,0	45,2	57,3
68 Maíz Ro.	8,3	3,2	25,5	37,0
38 Maíz Ro.	8,1	2,8	28,5	39,4
23 Maíz Ro.	8,2	2,2	26,6	37,0
5034 Maíz Ex.	7,9	2,6	31,4	41,9
55 Maíz Ex.	8,0	2,0	29,5	39,5
5027 Maíz Ex.	8,1	2,2	27,3	37,7
36 Maíz Mo.	8,1	1,1	27,3	36,6
59 Maíz Mo.	7,8	2,8	33,0	43,5
5032 Maíz Mo.	7,9	3,4	31,1	42,5

EB= Energía bruta (Mcal)

ANEXO 11

Análisis de varianza para el porcentaje de pérdidas de energía en forma de gases

Metano							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	0,181	0,023	1,71	4,15	8,1	
PERIODO	1	0,014	0,014	1,05	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	0,082	0,041	3,08	5,14	10,92	
ERROR	6	0,079	0,013				
TOTAL	17	0,356	0,091				0,15

ANEXO 12

Análisis de varianza para el porcentaje de pérdidas de energía en las fecas

Fecas							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	49,19	6,149	1,3	4,15	8,1	
PERIODO	1	6,601	6,601	1,4	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	14,35	7,176	1,52	5,14	10,92	
ERROR	6	28,36	4,727				
TOTAL	17	98,51	24,65				2,44

ANEXO 13

Análisis de varianza para el porcentaje de pérdidas de energía de la orina

Orina							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	4,68	0,585	2,55	4,15	8,1	
PERIODO	1	0,109	0,109	0,47	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	0,035	0,017	0,08	5,14	10,92	
ERROR	6	1,376	0,229				
TOTAL	17	6,2	0,941				0,62

ANEXO 14

Consumo diario de alimento durante cada período experimental (Kg/MS/día)

	CONSUMO ALFALFA	CONSUMO MAÍZ	CONSUMO TOTAL
Periodo 1	MS/Kg/día	MS/Kg/día	MS/Kg/día
33 Alfalfa	2,146		2,146
65 Alfalfa	2,146		2,146
69 Alfalfa	2,146		2,146
68 Maíz Ex.	1,073	1,035	2,108
38 Maíz Ex.	1,073	1,035	2,108
23 Maíz Ex.	1,073	1,035	2,108
5034 Maíz Mo.	1,073	1,023	2,096
55 Maíz Mo.	1,073	1,023	2,096
5027 Maíz Mo.	1,073	1,023	2,096
36 Maíz Ro.	1,073	1,034	2,107
56 Maíz Ro.	1,073	1,034	2,107
5032 Maíz Ro.	1,073	1,034	2,107
Periodo 2			
33 Alfalfa	2,146		2,146
65 Alfalfa	2,146		2,146
69 Alfalfa	2,146		2,146
68 Maíz Ro.	1,073	1,035	2,108
38 Maíz Ro.	1,073	1,035	2,108
23 Maíz Ro.	1,073	1,035	2,108
5034 Maíz Ex.	1,073	1,023	2,096
55 Maíz Ex.	1,073	1,023	2,096
5027 Maíz Ex.	1,073	1,023	2,096
36 Maíz Mo.	1,073	1,034	2,107
59 Maíz Mo.	1,073	1,034	2,107
5032 Maíz Mo.	1,073	1,034	2,107

ANEXO 15

Composición química de los alimentos estudiados (BMS, Liofilizador)

Alimentos estudiados	MS %	CT %	PB %	EB Kcal/g	EM Mcal/Kg	FDN %	FDA %
Alfalfa cubos primer periodo	89,42	9.33	16.71	4.35	2.25	44.84	36.84
Alfalfa cubos segundo periodo	89,43	9.82	17.29	4.34	2.24	43.85	35.42
Maíz molido	85,25	1.29	7.91	4.44	3.34	11.72	2.78
Maíz Rolado	86,18	1.2	7.62	4.40	3.35	10.40	3.27
Maíz extruido	86,23	1.3	8.21	4.44	3.3	10.02	2.85

MS = Materia seca base liofilizador

CT = Cenizas totales

PB = Proteína bruta

EB = Energía bruta

EM = Energía metabolizable

FDN = Fibra de detergente neutro

FDA = Fibra de detergente ácido

ANEXO 16

Resultados digestibilidad *in vivo* ración total (Maíz, Alfalfa)

Periodo 1	DMS %	Valor D %	% ED	EM %	EM/ED	EM Mcal/kg	DFDA%	DFDN %	DPB %
33 Alfalfa	64,91	59,16	62,65	51,66	0,83	2,25	56,34	53,33	72,03
65 Alfalfa	64,55	59,05	62,59	51,31	0,82	2,23	54,39	53,41	71,83
69 Alfalfa	63,35	58,09	61,49	50,21	0,82	2,18	54,93	53,33	67,76
68 Maíz Ex.	75,73	72,47	73,44	63,80	0,87	2,80	51,66	51,35	65,90
38 Maíz Ex.	74,76	71,69	71,96	61,87	0,86	2,72	51,58	53,27	61,71
23 Maíz Ex.	71,91	68,97	69,23	60,53	0,87	2,66	45,13	43,10	61,97
5034 Maíz Mo.	75,24	71,81	72,64	62,60	0,86	2,75	56,30	58,33	66,48
55 Maíz Mo.	71,64	68,66	69,20	59,68	0,86	2,62	53,75	57,49	60,82
5027 Maíz Mo.	73,18	70,13	70,57	60,85	0,86	2,67	53,02	58,19	59,77
36 Maíz Ro.	77,53	74,32	75,32	65,81	0,87	2,88	55,16	58,32	65,17
56 Maíz Ro.	76,39	73,16	73,67	62,69	0,85	2,74	54,05	59,05	62,90
5032 Maíz Ro.	71,31	67,86	68,90	58,99	0,86	2,58	43,16	42,36	63,25

ANEXO 17

Resultados digestibilidad *in vivo* ración total (Maíz, Alfalfa)

Periodo 2	DMS %	Valor D %	% ED	EM %	EM/ED	EM Mcal/kg	DFDA%	DFDN %	DPB %
33 Alfalfa	61,24	55,44	58,56	46,80	0,80	2,03	46,81	48,13	69,87
65 Alfalfa	59,80	54,46	56,93	45,26	0,80	1,96	44,45	46,40	69,68
69 Alfalfa	57,95	52,69	54,76	42,73	0,78	1,86	44,55	44,61	64,81
68 Maíz Ro.	76,81	73,26	73,96	63,03	0,85	2,75	50,34	55,55	66,91
38 Maíz Ro.	74,23	71,13	70,96	60,62	0,85	2,65	44,78	51,94	63,55
23 Maíz Ro.	75,30	72,23	72,86	62,98	0,86	2,75	45,47	51,99	68,10
5034 Maíz Ex.	70,58	67,39	67,77	58,05	0,86	2,55	42,73	44,67	56,98
55 Maíz Ex.	72,54	69,34	69,66	60,52	0,87	2,66	47,39	46,10	61,14
5027 Maíz Ex.	74,68	71,15	71,82	62,32	0,87	2,74	46,57	46,71	70,03
36 Maíz Mo.	75,27	71,60	71,84	63,44	0,88	2,79	52,82	59,71	66,18
59 Maíz Mo.	69,66	66,36	66,25	56,45	0,85	2,48	48,23	55,78	57,21
5032 Maíz Mo.	71,40	68,09	68,07	57,54	0,85	2,53	48,90	54,66	59,47

ANEXO 18

Análisis de varianza del contenido de materia seca (%) ración total

DMS Maiz & Alfalfa							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	47,36	5,92	1,37	4,15	8,1	
PERIODO	1	2,88	2,88	0,67	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	15,24	7,62	1,76	5,14	10,92	
ERROR	6	25,99	4,33				
TOTAL	17	91,47	20,75				2,24

ANEXO 19

Análisis de varianza para la digestibilidad del valor D (%) *in vivo* ración total

Valor D Maíz & Alfalfa							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	44,91	5,61	1,53	4,15	8,10	
PERIODO	1	4,04	4,04	1,10	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	17,11	8,55	2,33	5,14	10,92	
ERROR	6	22,00	3,67				
TOTAL	17	88,06	21,87				2,18

ANEXO 20

Análisis de varianza para la digestibilidad de la energía metabolizable (%) *in vivo* ración total

EM Maíz &Alfalfa							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	60,70	7,59	2,58	4,15	8,10	
PERIODO	1	7,81	7,81	2,66	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	13,64	6,82	2,32	5,14	10,92	
ERROR	6	17,66	2,94				
TOTAL	17	99,81	25,16				2,39

ANEXO 21

Análisis de varianza para la digestibilidad de la energía digestible (%) *in vivo* ración total

ED Maíz & Alfalfa							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	49,36	6,17	1,22	4,15	8,10	
PERIODO	1	7,66	7,66	1,52	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	15,91	7,96	1,58	5,14	10,92	
ERROR	6	30,30	5,05				
TOTAL	17	103,23	26,83				2,34

ANEXO 22

Análisis de varianza para la digestibilidad de la proteína bruta (%) *in vivo* ración total

DPB Maíz & Alfalfa							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	86,71	10,84	0,58	4,15	8,10	
PERIODO	1	0,14	0,14	0,01	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	30,20	15,10	0,81	5,14	10,92	
ERROR	6	112,23	18,71				
TOTAL	17	229,28	44,79				3,59

ANEXO 23

Análisis de varianza para la digestibilidad de la fibra de detergente neutro (%) *in vivo* ración total

DFDN Maíz & Alfalfa							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	218,21	27,28	0,60	4,15	8,10	
PERIODO	1	11,43	11,43	0,25	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	72,63	36,32	0,80	5,14	10,92	
ERROR	6	271,13	45,19				
TOTAL	17	573,40	120,21				5,90

ANEXO 24

DFDA Maíz & Alfalfa							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	115,56	14,45	0,92	4,15	8,10	
PERIODO	1	74,44	74,44	4,76	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	25,15	12,57	0,80	5,14	10,92	
ERROR	6	93,75	15,63				
TOTAL	17	308,90	117,08				4,16

Análisis de varianza para la digestibilidad de la fibra de detergente ácido (%) *in vivo* ración total

ANEXO 25

Resultados digestibilidad del maíz por diferencia

Periodo 1	DMS %	Valor D%	EM %	ED %	EM/ED	DPB %
68 Maíz Ex.	87,61	86,67	75,65	86,35	0,88	56,30
38 Maíz Ex.	85,63	85,10	72,45	83,35	0,87	43,44
23 Maíz Ex.	79,83	79,56	67,92	77,78	0,87	44,23
5034 Maíz Mo.	86,75	85,49	74,20	84,87	0,87	57,42
55 Maíz Mo.	79,37	79,05	67,42	77,81	0,87	39,24
5027 Maíz Mo.	82,52	82,06	70,23	80,63	0,87	35,87
36 Maíz Ro.	91,30	90,46	79,70	89,62	0,89	52,89
56 Maíz Ro.	88,97	88,10	75,16	86,25	0,87	45,46
5032 Maíz Ro.	78,61	77,30	66,26	76,55	0,87	46,60

ANEXO 26

Resultados digestibilidad del maíz por diferencia

Periodo 2	DMS %	Valor D%	EM %	ED %	EM/ED	PB %
68Maíz Ro.	94,59	93,03	81,41	92,60	0,88	63,96
38Maíz Ro.	89,33	88,70	75,87	86,49	0,88	52,71
23Maíz Ro.	91,51	90,93	79,58	90,37	0,88	67,95
5034 Maíz Ex.	82,04	81,24	69,99	80,68	0,87	32,85
55 Maíz Ex.	86,05	85,22	74,80	84,53	0,89	45,98
5027 Maíz Ex.	90,44	88,93	78,80	88,97	0,89	74,09
36 Maíz Mo.	91,46	89,67	79,19	88,82	0,89	61,69
59 Maíz Mo.	80,02	78,98	66,99	77,44	0,87	32,38
5032 Maíz Mo.	83,58	82,52	69,77	81,13	0,86	39,77

ANEXO 27

Resultado promedio DMS, Valor D, ED, EM, PB in vivo (%) y EM/ED de la digestibilidad del maíz en el primer periodo de muestreo

Tratamiento	DMS %	Valor D%	ED %	EM %	EM/ED	PB %
Maíz Ex.	84,35	83,78	82,49	72,01	0,87	47,99
Maíz Mo.	82,88	82,20	81,10	70,62	0,87	44,18
Maíz Ro.	86,29	85,29	84,14	73,71	0,88	48,32

ANEXO 28

Resultado promedio DMS, Valor D, ED, EM, PB in vivo (%) y EM/ED de la digestibilidad del maíz en el segundo periodo de muestreo

Tratamiento	DMS %	Valor D%	ED %	EM %	EM/ED	PB %
Maíz Ex.	91,81	90,89	89,82	78,95	0,88	61,54
Maíz Mo.	86,17	85,13	84,73	74,53	0,88	50,97
Maíz Ro.	85,02	83,72	82,46	71,98	0,87	44,62

ANEXO 29

Análisis de varianza para la digestibilidad de la materia seca (%) *in vivo* del
maíz

DMS Maíz							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	194,18	24,27	1,30	4,15	8,1	
PERIODO	1	44,94	44,94	2,40	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	59,28	29,64	1,58	5,14	10,92	
ERROR	6	112,40	18,73				
TOTAL	17	410,79	117,58				4,93

ANEXO 30

Análisis de varianza para la digestibilidad del Valor D (%) *in vivo* del maíz

Valor D Maíz							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	183,5	22,94	1,43	4,15	8,1	
PERIODO	1	35,96	35,96	2,24	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	66,47	33,24	2,07	5,14	10,92	
ERROR	6	96,29	16,05				
TOTAL	17	382,3	108,2				4,69

ANEXO 31

Análisis de varianza para la digestibilidad de la energía metabolizable (%) *in vivo* del maíz

EM Maíz							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	211,3	26,41	1,38	4,15	8,1	
PERIODO	1	41,66	41,66	2,18	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	46,42	23,21	1,21	5,14	10,92	
ERROR	6	114,8	19,13				
TOTAL	17	414,2	110,4				4,97

ANEXO 32

Análisis de varianza para la digestibilidad de la energía digestible (%) *in vivo* del maíz

ED Maíz							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	198,7	24,83	3,12	4,15	8,1	
PERIODO	1	42,95	42,95	5,4	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	128,8	64,42	8,09	5,14	10,92	
ERROR	6	47,73	7,955				
TOTAL	17	418,2	140,2				4,91

ANEXO 33

Análisis de varianza para la digestibilidad de la proteína bruta (%) *in vivo* del maíz

DPB Maíz							
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 10%	S
VACAS	8	934,8	116,9	0,68	4,15	8,1	
PERIODO	1	138,7	138,7	0,81	5,99	13,74	
TRATAMIENTO	2	365,4	182,7	1,07	5,14	10,92	
ERROR	6	1052	175,4				
TOTAL	17	2491	613,6				12,04