

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGONOMÍA

**PREDICCIÓN DE LA ENERGÍA NETA DE LACTACIÓN DE
ENSILAJES DE SORGO Y MAÍZ**

por

Santiago LARGHERO VIERA

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magister en Ciencias Agrarias
Opción Producción Animal

MONTEVIDEO

URUGUAY

2011

Tesis aprobada por el tribunal integrado por el Ing. Agr. (PhD) Gustavo Jaurena, el Ing. Agr. (MSc) Yamandú Acosta y la Ing. Agr. (Dra) Laura Astigarraga el 17 de junio de 2011. Autor: Ing. Agr. Santiago Larghero Viera. Directora Ing. Agr. (MSc) Ana Bianco.

TABLA DE CONTENIDO

PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VI
1 <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 FACTORES QUE AFECTAN EL VALOR ENERGÉTICO DE LOS ENSILAJES....	3
1.1.1 <u>Especie (genotipo)</u>	3
1.1.1.1 Sorgo.....	4
1.1.1.2 Maíz.....	5
1.1.2 <u>Cosecha</u>	5
1.1.2.1 Momento de cosecha.....	5
1.1.2.2 Tamaño de picado y procesamiento del material.....	6
1.1.2.3 Altura de corte.....	8
1.1.3 <u>Ambiente</u>	8
1.1.4 <u>Contenido de materia seca para una adecuada fermentación</u>	9
1.2 ESTIMACIONES DE LA ENERGÍA NETA DE LACTACIÓN A PARTIR DE LA DMO <i>in vivo</i>	9
1.3 MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS EN LA ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA A PARTIR DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ENSILAJES.....	10
1.3.1 <u>Modelos empíricos seleccionados</u>	12
1.3.1.1 Modelos empíricos univariados.....	12
1.3.1.2 Modelo empírico multicomponente.....	12
1.3.2 <u>Modelo mecanicista sumativo (NRC 2001)</u>	13
2 <u>PREDICCIÓN DE LA ENERGÍA NETA DE LACTACIÓN DE ENSILAJES DE SORGO Y MAÍZ. Parte 1. Modelos de predicción a partir de la composición química</u>	15
2.1 RESUMEN.....	15
2.2 SUMMARY.....	16
2.3 INTRODUCCIÓN.....	16
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
2.4.1 <u>Composición química del ensilaje ofrecido</u>	18
2.4.2 <u>Digestibilidad <i>in vivo</i></u>	18
2.4.3 <u>Modelos matemáticos utilizados</u>	19

2.4.4	<u>Análisis estadístico</u>	21
2.5	RESULTADOS.....	21
2.6	DISCUSIÓN	23
2.7	CONCLUSIONES	25
2.8	BIBLIOGRAFÍA	26
3	<u>PREDICCIÓN DE LA ENERGÍA NETA DE LACTACIÓN DE ENSILAJES SORGO Y MAÍZ. Parte 2. Predicción a partir del material original</u> ...	29
3.1	RESUMEN	29
3.2	SUMMARY	30
3.3	INTRODUCCIÓN	30
3.4	MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.4.1	<u>Composición química del ensilaje ofrecido</u>	31
3.4.2	<u>Composición química del material original</u>	32
3.4.3	<u>Digestibilidad in vivo</u>	32
3.4.4	<u>Modelos utilizados</u>	33
3.4.5	<u>Análisis estadístico</u>	34
3.5	RESULTADOS.....	35
3.6	DISCUSIÓN	36
3.7	CONCLUSIONES	38
3.8	BIBLIOGRAFÍA	39
4	<u>DISCUSIÓN GENERAL</u>	42
5	<u>CONCLUSIONES GLOBALES</u>	47
6	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	48

RESUMEN

Con el objetivo de comparar distintos modelos de predicción del valor energético de ensilajes de sorgo y maíz, a partir de la composición química del ensilaje o del material picado previo al ensilado, se realizó el estudio de muestras relevadas durante los años 2000 a 2005 de veinticuatro cultivos de sorgo y ocho de maíz. En el primer trabajo se evaluaron en términos de la composición química (Ceniza, FDA, FDN, LDA, CNF, PC) y la digestibilidad *in vivo* en capones de la MO, EB y FDN. Se estimó el valor de la ENI de los ensilajes a partir de la digestibilidad *in vivo* y se lo comparó con el valor obtenido mediante la aplicación de modelos de predicción empíricos y mecanicista sumativo, utilizando los parámetros químicos. Se estudiaron tres modelos empíricos y dos sumativos, los modelos empíricos son los propuestos por PSFTL (1980), Garret (1980) y y Andrieu (1995). Se estudió el modelo sumativo propuesto por el NRC (2001) en dos variantes, que difieren en el factor de ajuste para la estimación de la digestibilidad del almidón (a y b). Los modelos PSFTL (1980), Garret (1980) y Andrieu (1995) presentaron coeficientes de correlación (r) de -0,02, -0,02 y 0,04 respectivamente y estos no fueron significativos. Las dos variantes del modelo sumativo del NRC (2001), a y b, presentaron r significativos de 0,62 y 0,67, respectivamente y diferentes de los demás modelos, pero no entre si. En el segundo trabajo, se calculó el r y el intervalo de confianza de la correlación entre el valor de la ENI del ensilaje obtenido y el estimado por los modelos a partir de la composición química del material original. No se encontraron diferencias significativas entre los r cuando se utilizaron todos los materiales: 0,54, 0,59, 0,07, 0,06, 0,11 para los modelos NRC a y b, PSFTL, Garret y Andrieu, respectivamente. Cuando la base se restringe a los materiales con más de 28 % de MS, los modelos propuestos por PSFTL, Garret y Andrieu no fueron significativos, pero las dos variantes del modelo sumativo del NRC a y b, si lo fueron. Los r fueron de 0,76 y 0,72, respectivamente, donde la variante NRCa presento diferencias significativas con los modelos ya citados y la variante NRCb no.

Palabras clave: ensilaje, sorgo, maíz, energía, modelos.

Prediction of net energy of lactation for sorghum and maize silage

SUMMARY

In order to compare prediction models to estimate the energy value of sorghum and maize silage, as from the chemical composition of the silage or the chopped material prior to placing in the silo, a study was carried on for the samples collected during the years 2000 to 2005 out for twenty-four sorghum and eight maize cultivars. In the first study, were assessed in terms of their chemical composition (Ash, ADF, NDF, ADL, NFC, CP) and in vivo digestibility using adult wethers for OM, BE and NDF. The NEI value for the silages was estimated as from the in vivo digestibility and it was compared with the value obtained through the application of empirical prediction models and mechanistic summative, by using chemical parameters. Three empirical and two summative models were studied; the empirical models were those proposed by PSFTL (1980), Garret (1980) and Andrieu (1995). The summative model proposed by the NRC (2001) was studied in two variants, which differ in the adjustment factor for estimation of the digestibility of starch (a and b). The models proposed by PSFTL (1980), Garret (1980) and Andrieu (1995) showed -0.02, -0.02 and 0.04 correlation ratios (r) respectively, and these were not significant. The two variants of the NCR (2001) summative model, a and b showed significant r of 0.62 and 0.67, respectively, which differed from the other models, but not between themselves. For the second study the r and the confidence interval of the correlation between the NEI value of the obtained silage and the one estimated by the models as from the chemical composition of the green chopped material, were calculated. The r did not show differences among themselves when all the materials were used: 0.54, 0.59, 0.07, 0.06, 0.11 for the NRC a and b models, PSFTL, Garret and Andrieu, respectively. When the basis is restricted to materials with DM in excess of 28 %, the models proposed by PSFTL, Garret and Andrieu were not significant, although the two variants a and b of the NRC summative model were significant. Correlation ratios were 0.76 and 0.72, respectively, where the NRC variant was different from the mentioned models but not for the NRCb model.

Keywords: silage, sorghum, maize, energy, models.

1 INTRODUCCIÓN

La alimentación de las vacas lecheras en el país, incluye el uso de ensilajes de planta entera de maíz o sorgo, para ser suministrado normalmente en el periodo otoño - invernal, en una proporción muy importante de la dieta. De esta manera, se introduce en una época en que la producción de las pasturas es la más baja del año (exceptuando los periodos de sequía), permitiendo entre otras cosas, mantener la carga durante todo el año.

Los cultivares empleados son de maíz y sorgo, híbridos en su gran mayoría en el primer caso y en el caso del sorgo híbridos de *Sorghum bicolor*, forrajeros o dulces. La elección de una de las dos alternativas se basa en una mejor calidad esperada en el caso del maíz y mayor estabilidad en los rendimientos y calidad intermedia en caso del sorgo.

El proceso de generación de reservas para su utilización en otra estación, requiere de planificación de la alimentación y de una estimación del aporte en este caso de la energía, de los alimentos a utilizar, para lograr una combinación eficiente de los recursos.

La medida más exacta del valor energético de un alimento es la que se obtiene a partir de ensayos en la especie animal en la cual se va a utilizar el alimento, por lo tanto la estimación del contenido de la energía neta obtenida a partir de la digestibilidad *in vivo* es considerada como una de las mejores estimaciones posibles con la limitante del alto costo y tiempo que conlleva realizar este tipo de mediciones (Chenost y Martin-Rosset, 1985). Los ensayos *in vivo* son largos y costosos, una forma intermedia para bovinos es realizarlo en ovinos y utilizar modelos de estimación de la energía a partir de estos. Siendo más adecuado que *in vitro* porque incluye factores como el consumo voluntario, degradabilidad del forraje en el retículo-rumen y la absorción de los nutrientes a través de todo el tracto-gastro intestinal (Miron *et al.*, 2006).

A partir de los ensayos *in vivo* se han desarrollado ecuaciones empíricas utilizando los parámetros químicos de los alimentos, univariados o

multicomponentes, los más utilizados en el país son en base a la fibra detergente acida (FDA) (Mieres, 2004).

El NRC (2001), propone un modelo mecanicista sumativo, que realiza la estimación a partir del contenido de las fracciones del alimento y la digestibilidad de cada una de ellas.

El empleo de una muestra aleatoria del silo, implica una espera de al menos 30 días desde su confección, siendo la técnica de muestreo engorrosa y se realiza temporalmente muy cerca o al inicio del suministro del silo. Consecuentemente dificulta el adoptar los cambios necesarios, pasando generalmente a ser un dato de confirmación de los resultados productivos. Para evitar esto, se podría analizar el material original antes de ensilar que, de acuerdo a la información que existe para maíz, tendría una diferencia despreciable con el ensilaje (Andrieu, 1995; Flores, 2004).

Se describirán los factores que afectan el valor energético de los ensilajes y los modelos matemáticos que utilizan la composición química de los ensilajes (empíricos y mecanicistas), a partir de donde se discutirá los resultados encontrados.

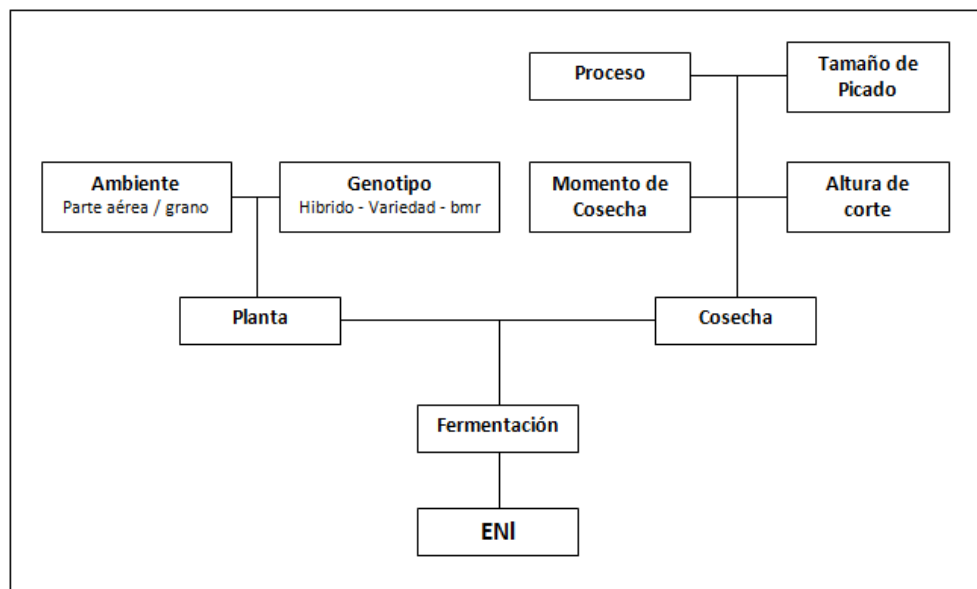
Los objetivos del trabajo fueron comparar distintos modelos de predicción del valor energético de los ensilajes, a partir de los parámetros químicos, empleando modelos matemáticos empíricos (univariados y multicomponentes) y un modelo mecanicista sumativo. Adicionalmente, se propuso medir el nivel de ajuste del valor de energía predicho utilizando modelos que se basan en los parámetros químicos del material original con respecto al valor obtenido a partir de estimaciones de la energía neta de lactación (ENL) a partir de la digestibilidad de la materia orgánica *in vivo* (DMO *in vivo*) del ensilaje.

Los dos artículos que se encuentran en esta tesis se presentarán para su publicación en la revista científica de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, Agrociencia.

1.1 FACTORES QUE AFECTAN EL VALOR ENERGÉTICO DE LOS ENSILAJES

Los principales factores que afectan el valor energético de los ensilajes están dados por factores del cultivo, del ambiente y de la tecnología de conservación. En la Figura 1, se muestran los principales factores que afectan el valor energético de los ensilajes, siendo los responsables de la variabilidad encontrada en este trabajo.

Figura 1. Factores que afectan el valor energético de los ensilajes, adaptado de Berthiaume (1998).



La combinación de las características propias de cada material, la concreción de su potencial (ambiente), los factores de manejo que podrían alterar su valor nutritivo y por último el curso de la fermentación, podrán mantener o disminuir su valor energético final, medido como ENI.

1.1.1 Especie (genotipo)

La primera diferencia importante se da entre maíz y sorgo, cuando se comparan en condiciones óptimas de desarrollo de los cultivos, se encuentra mayor digestibilidad y menor contenido de lignina en maíz, comparando materiales sin genes *bmr* (Oliver *et al.*, 2004). La importancia radica en que la lignina está reportada como la principal limitante para la digestión de la pared celular (Van Soest,

1994), por ser prácticamente indigestible y porque limita la degradación de los otros compuestos no solubles de la pared celular y parte de la proteína.

1.1.1.1 Sorgo

En la tabla 1 se compara la digestibilidad de distintos tipos de híbridos de sorgos de bajo tanino, dentro de los genotipos estudiados no se incluyen materiales con genes *bmr*.

Tabla 1. Variación genotípica de la digestibilidad de la material orgánica y de la fibra detergente neutra de diferentes híbridos de sorgo*, Barrière *et al.* (2003).

		Numero de Genotipos	Promedio	Mínimo	Máximo
Sorgo Granífero	DMO	5	65,2	62,5	67,2
	DFDN		45,2	40,1	49,1
Sorgo Granífero x sorgo azucarado	DMO	4	57,8	54,4	60,1
	DFDN		40,8	44,9	52,3
Sudan x sorgo granífero	DMO	3	55,9	53,7	58,2
	DFDN		48,6	47,1	51,3

* Los sorgos estudiados son de bajo contenido en taninos.

DMO: Digestibilidad de la materia orgánica. DFDN: Digestibilidad de la fibra detergente neutra.

La digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y la digestibilidad de la fibra detergente neutra (DFDN) de los ensilajes de sorgo es menor que en maíz. Dentro de los sorgos, la DFDN de los híbridos de granífero x azucarados es el menor valor.

La base de datos del presente trabajo esta compuesta por materiales forrajeros y dulces con contenidos altos, medios y bajos de taninos. Esto es importante porque el sorgo presenta contenidos variables de taninos que disminuyen la degradabilidad ruminal de la materia seca y de la proteína bruta de los silos de sorgo, dependiendo de la concentración del mismo y no solo de su presencia (Campos *et al.*, 2003), en tanto Rooney y Pfflugfelder (1986) reportan que la matriz proteica del grano de sorgo y la constitución del almidón como factores que también disminuyen la digestibilidad del grano de sorgo procesado, reportando entre un 93 y 96 % del valor nutritivo comparado con el grano de maíz.

La utilización de los genes *bmr*, busca levantar las limitantes ocasionadas por la lignina. La inclusión de genes *bmr* 6 y 12 en sorgo ocasiona un impacto negativo sobre las características de comportamiento agronómico pero aumenta la DFDN (Oliver *et al.*, 2005a). Esto indica que la presencia de un gen *bmr*, no asegura una adecuada combinación de efectos positivos en el valor nutritivo y/o un adecuado desempeño agronómico, por presentar una expresión variable en función del híbrido y del gen utilizado (Oliver *et al.*, 2005b).

1.1.1.2 Maíz

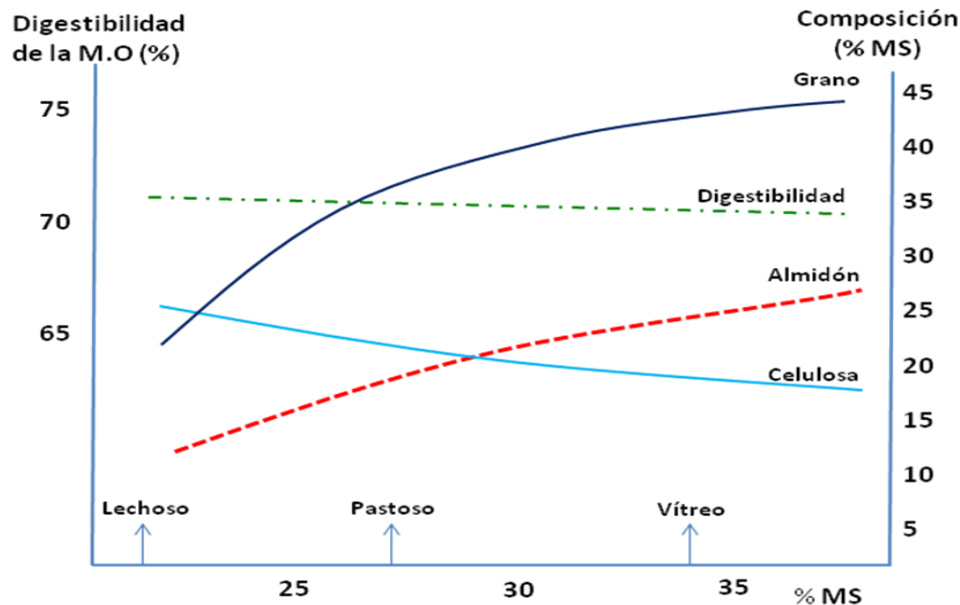
Del estudio de maíces sin genes *bmr*, registrados en Europa entre los años 1958 y 2000, se encontró que la variación genética fue muy alta, con un rango de 32,9 a 60,1 % de la digestibilidad *in vivo* de la fibra detergente neutra, promedio de 48,6 %. La inclusión del gen *bmr* 3, en particular, disminuye la cantidad de lignina, aumenta la degradabilidad de la pared celular y el consumo, aunque también aumenta la susceptibilidad al quebrado y volcado de este tipo de materiales (Barrière *et al.*, 2003). En este mismo trabajo se determinó que la DMO promedio era de 69,7 % y un rango de variación mayor que en sorgo (61,3 – 75,9 %).

1.1.2 Cosecha

1.1.2.1 Momento de cosecha

Durante el ciclo del cultivo existen una serie de cambios que modifican la cantidad y composición de la pared celular y del grano, cambiando la composición relativa en el material cosechado (Figura 2). Con el avance de la madurez del cultivo hay una disminución leve de la DMO en condiciones normales de desarrollo del cultivo, por aumento de la lignina como constituyente de la pared celular y disminución de la degradabilidad del almidón, siendo compensado en parte por el aumento relativo del grano. En el caso del sorgo aumenta la cantidad de grano entero en las heces según Owen (1967). En el caso particular del maíz posee una correlación cercana a cero entre el contenido de pared celular y la digestibilidad de la misma (Barrière *et al.*, 2003).

Figura 2. Evolución de la composición (morfológica y química) y de la digestibilidad de la materia orgánica de un cultivo de maíz en función de su tenor en materia seca, Andrieu (1984).



Andrieu, 1984

El almidón, tanto en el maíz como en el sorgo sufre procesos en el cual a medida que se acerca a su madurez, disminuye su digestibilidad. Esta disminución estaría explicada por el aumento del contenido de prolinas, siendo uno de los constituyentes de la matriz proteína-almidón. Las cuales serían las responsables de enlentecer la degradación del almidón por ser hidrofóbicas (Hoffman *et al.*, 2011).

1.1.2.2 Tamaño de picado y procesamiento del material

En sorgo, a medida que avanza el ciclo del cultivo, la panoja madura desde el extremo superior al inferior. Al momento del ensilaje, el grano tendrá un porcentaje de grano duro, que a medida que avanza el ciclo del cultivo, la proporción será mayor. Estos granos duros, prácticamente no son afectados por el picado, siendo posteriormente no aprovechados por el animal (Tabla 2). La disminución en el contenido de energía por efecto de la madurez alcanzaría un 10 %.

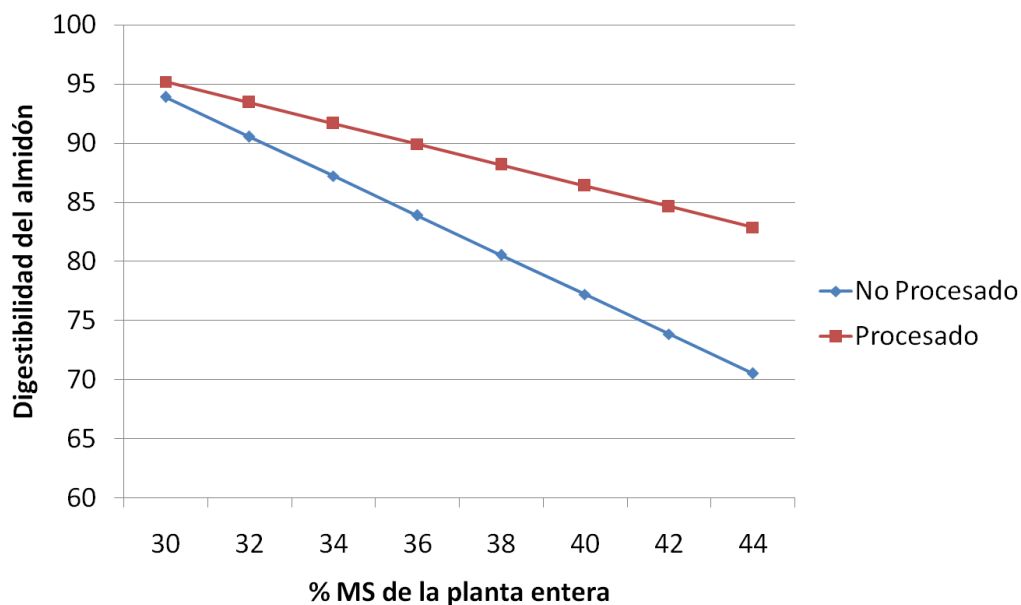
Tabla 2. Valor energético de ensilajes de sorgo para vacas lecheras, Le Gall (2003).

Momento de cosecha	% MS de la planta entera	% MS de la panoja	% de almidón del ensilaje	% de almidón en las heces	Valor energético de ensilaje de sorgo (UFL / kg MS)
Lechoso-Pastoso	28-32	45-55	22-28	10-15	0,80-0,85
Pastoso-Duro	33-36	55-65	28-30	15-20	0,75-0,80
Duro	37-43	65-75	30-32	20-26	0,72-0,75

MS = Materia Seca, UFL = Unidad Forrajera lechera, equivalente a 1,7 Mcal

Para disminuir este problema, algunas maquinas picadoras poseen rodillos que aplastan el material y por consiguiente al grano. En la Figura 3, se muestra el efecto del procesamiento sobre la digestibilidad del almidón del grano de maíz al momento de la cosecha, consistentemente se ha encontrado que el procesamiento mejora la calidad de los ensilajes (Johnson *et al.*, 1999).

Figura 3. Efecto del contenido de materia seca de ensilajes de maíz sobre la digestibilidad aparente total del almidón. Phileppau y Michalet-Doreaut (1998).



No procesado, $Y = 144,8 - 1,67 \times X$, $R^2 = 0,85$.

Procesado, $Y = 121,6 - 0,88 \times X$, $R^2 = 0,77$.

- Tamaño de picado

El tamaño de partícula reducido, permite una adecuada compactación del silo y la eliminación de oxígeno, lo que contribuye a obtener un ensilaje de buena calidad durante el periodo de almacenamiento y maximiza el consumo (Stockdale *et al.*, 1994).

En un ensayo con vacas lecheras, alimentadas con una dieta totalmente mezclada, donde el ensilaje de maíz representaba un 33 % de la dieta, se evaluó el efecto del tamaño de picado y el procesamiento del ensilaje de maíz, se encontró con tamaños de picados teóricos de 0,95, 1,45 y 1,90 cm, que el menor tamaño disminuyó la digestibilidad de la pared celular, no encontrándose efectos en leche corregida por grasa, en cambio el procesamiento del material picado con rodillos con una apertura de 1 mm, sí tuvo efectos significativos, aumentando el consumo, la digestibilidad del almidón y la producción de leche (Bal *et al.*, 2000).

1.1.2.3 Altura de corte

La altura de corte permite modificar la proporción de los tejidos que se ensilan, ya que a mayor altura de corte, mayor es la proporción de grano incluido, y consecuentemente es menor la cantidad de tallo y materia digestible por hectárea (Hart, 1990).

1.1.3 Ambiente

El ambiente determina la proporción de los componentes de la planta, esto es muy importante en el caso del maíz, en donde déficit hídricos al momento de la floración, pueden comprometer gran parte de la producción de grano. Es por esta razón que en situaciones de producción de bajo potencial o regímenes bajos de lluvia, se opta por el sorgo, dada su estabilidad productiva y el mantenimiento de la proporción de las partes de la planta. En Uruguay el ambiente es una fuente de variación de gran magnitud, determinando de forma importante el rendimiento en materia seca total de los cultivos de maíz para silo (Medina *et al.*, 2001), generando una alta variabilidad de la relación grano/FDA y por consiguiente de la DMO.

1.1.4 Contenido de materia seca para una adecuada fermentación

El contenido ideal de materia seca (MS) de los ensilajes de maíz estaría entre 30 y 35 % de MS, para evitar pérdidas por efluentes y gases, permitiendo conservar el valor nutritivo, según Van Soest (1994); Nussio (1999) y Brondani *et al.* (2000) citados por Rosa *et al.* (2004). En el caso del sorgo se reporta por Xiccato *et al.* (1994), citado por Ribeiro (2007), que las pérdidas por efluentes son muy pequeñas cuando la MS del forraje es superior a 25 % y su producción virtualmente cesa con 29 % de MS.

1.2 ESTIMACIONES DE LA ENERGÍA NETA DE LACTACIÓN A PARTIR DE LA DMO *in vivo*

Para el cálculo del valor energético de los ensilajes (ENI) es ampliamente utilizado el modelo del Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) (Jarrige, 1988), tabla 3, a partir de la energía bruta (EB) y la digestibilidad de la energía (dE). Para obtener la energía neta de lactación (ENI) se multiplicó la energía metabolizable (EM) por la eficiencia de utilización de la energía metabólica (k) para lactación. El nivel de alimentación (NA) se considera en el cálculo de la concentración de la energía metabolizable del alimento (EM/ED), además de la concentración de la fibra bruta (FB) y de la materia orgánica nitrogenada (MAT) en la materia orgánica (MO).

La determinación de la DMO *in vivo* se puede realizar con alimentación *ad libitum* o fijo. La primera permite estimar además la ingestibilidad del alimento, el nivel fijo se utiliza cuando se quiere medir la digestibilidad de un alimento a un nivel de consumo que se aproxima a mantenimiento.

Tabla 3. Cálculo del valor energético en unidades forrajeras lecheras (UFL) de los alimentos (Jarrige, 1988).

Energía digestible (ED) = Energía bruta (EB) × digestibilidad de la energía.

Energía metabolizable (EM) = ED × $\frac{EM}{ED}$

$$\frac{EM}{ED} = 0,8417 - 9,9 \times 10^{-5} \text{ CBo} - 1,96 \times 10^{-4} \text{ MATo} + 0,0221 \text{ NA}$$

Concentración de la energía metabolizable de los alimentos: $q = \frac{EM}{EB}$

Los cálculos se realizan sobre la materia orgánica.

Eficiencia de la utilización de la energía metabolizable en energía neta para lactación: $kl = 0,60 + 0,24 \times (q - 0,57)$

CBo = Celulosa bruta; MATo = Materia orgánica nitrogenada; NA = nivel de alimentación

La digestibilidad se puede medir en ovinos o vacunos, se usa mayormente el ovino debido a que la correlación encontrada por Mertens y Ely (1982) entre la digestibilidad de los alimentos en ovinos y bovinos fue de 0,916. Este autor citado por Van Soest (1981), encontró una tendencia a que los valores obtenidos en ovinos en relación a los vacunos son mayores cuando la digestibilidad es alta y menores en alimentos con una baja digestibilidad, encontrándose el punto de corte en 66 % de digestibilidad.

Schiemann *et al.* (1968) y Jentsch *et al.* (1993) citados por Gabel *et al.* (2003) demuestran un buen ajuste entre ovinos y bovinos a niveles de alimentación de mantenimiento y hasta un 50 % superior.

1.3 MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS EN LA ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA A PARTIR DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ENSILAJES

El valor energético de los alimentos se determina mediante ensayos de digestibilidad en animales, sin embargo estos ensayos son muy costosos por lo que solo se llevan adelante en centros de investigación. La evaluación energética en los laboratorios de servicio depende de la existencia de modelos matemáticos de

estimación basados en parámetros químicos capaces de predecir en forma adecuada la digestibilidad *in vivo* de los forrajes (Flores, 2004), o directamente la ENI.

Los modelos matemáticos utilizados en este trabajo se clasifican como empíricos y mecanicistas. Los primeros dan cuenta de una relación fija entre una o más variables con la variable dependiente, no explicando el mecanismo involucrado en el proceso. En contraposición, los modelos mecanicistas explican en mayor o menor grado el mecanismo involucrado, utilizando variables de un nivel menor de agregación (Tedeschi *et al.*, 2005).

Una de las variables más utilizada en los modelos empíricos univariados en forrajes y ensilajes es la FDA. Como principales limitantes, Weiss (1993) reporta que: dependen de la población donde fueron generadas (empírico), no contemplan los cambios en el crecimiento y en el almacenamiento de los alimentos, fueron colectados en el pasado y no representan adecuadamente los alimentos actuales y que es necesario una ecuación para cada alimento (forrajes, concentrado, con bajo contenido de fibra). Por este motivo presenta dificultades en los alimentos compuestos por forraje y grano. El estimar la energía utilizando una sola fracción tiene la limitante que es insensible al cambio en concentración de las otras fracciones, ya que se asume que es la única que afecta la digestibilidad o que las demás están fuertemente correlacionadas. No considera el nivel de alimentación y las ecuaciones disponibles en base a FDA para alimentos concentrados son muy sensibles a los errores analíticos por la baja concentración de esta fracción (Weiss, 1998). Los modelos que utilizan la FDA como predictor de la ENI de ensilajes de maíz explican un 60 % de la digestibilidad *in vitro* y un 40 % de la digestibilidad *in vivo* de la variación en la estimación. Weiss (1998) concluye que los modelos empíricos univariados deberían ser utilizados solamente en poblaciones similares a aquellas en las que fueron generados.

Los modelos empíricos multicomponentes, se originan a partir de ecuaciones de regresión con varios componentes de los alimentos, son levemente más precisos

que los univariados, menos sensibles al error analítico, pero por la posible colinearidad de las variables independientes, son más específicos con respecto a la población que los originó (Weiss, 1998).

El modelo propuesto por NRC (2001), que presenta dos formas para obtener el valor energético de los alimentos, uno es de tablas y el otro mediante del uso de ecuaciones sumativas (Weiss, 1993, 1998, Weiss *et al.*, 1992) para predecir la energía digestible de los alimentos (Tedeschi *et al.*, 2005). Esta última, es un modelo mecanicista que utiliza una ecuación sumativa que incluye a todos los parámetros químicos del alimento que aportan energía, su digestibilidad y EB, NRC (2001). En este modelo están representadas más fuentes de variación que en los empíricos univariados y se pueden utilizar en la mayoría de los alimentos (Weiss, 1998).

1.3.1 Modelos empíricos seleccionados

1.3.1.1 Modelos empíricos univariados

En Uruguay son ampliamente utilizados los modelos empíricos para la estimación de la energía de los ensilajes. Mieres (2004) utiliza los modelos propuestos por Garret (1980) y PSFTL (1980) a partir de la FDA. Estos modelos fueron ajustados para ensilajes de maíz.

$$\text{Garret (1980): ENI (Mcal.kg}^{-1}\text{)} = 2,072 - (0,0176 \times \% \text{ FDA}).$$

$$\text{PSFTL (1980): ENI (Mcal.kg}^{-1}\text{)} = 2,301 - (0,0273 \times \% \text{ FDA}).$$

1.3.1.2 Modelo empírico multicomponente

Los modelos multicomponentes que emplean los parámetros químicos para estimar la DMO de los alimentos, se pueden obtener por el proceso de regresión paso a paso como es el caso del modelo de Andrieu (1995). Este autor, obtuvo para ensilajes de maíz, una ecuación empleando los parámetros químicos: fibra detergente neutra (FDN), FDA y proteína bruta (PB) y obtuvo un coeficiente de correlación de 0,67. Se la seleccionó para este trabajo por que cuenta con los análisis de los componentes químicos, su buena precisión y por partir alta cantidad de datos

(n=254) empleadas para su formulación. Con este mismo procedimiento, y empleando los parámetros químicos de los ensilajes para estimar la DMO, Flores (2004) obtuvo una mayor proporción de la varianza explicada por los modelos empíricos multicomponentes en relación a los univariados, el coeficiente de determinación (R^2) fue entre 0,36 y 0,51 para los multicomponentes y de 0,27 a 0,32 para los univariados.

1.3.2 Modelo mecanicista sumativo (NRC 2001)

Weiss *et al.* (1992) propusieron un modelo que desagrega el alimento en las distintas fracciones (tabla 3) y calcula la cantidad de nutrientes digestibles de cada fracción. Para ello se utiliza coeficientes de digestibilidad fijos o ecuaciones de predicción, este modelo es utilizado posteriormente por el NRC (2001). Para los carbohidratos no fibrosos (CNF), se aplica un factor de ajuste de la digestibilidad en función del contenido de materia seca del ensilaje, como forma de corregir la menor digestibilidad del grano a medida que aumenta la madurez fisiológica del cultivo. Para la FDN, se estima la cantidad que es potencialmente digestible (FDNPD) y a esa fracción se le aplica la constante de digestibilidad (Conrad *et al.*, 1984, modificado por Weiss *et al.* (1992).

Tabla 4. Fracciones de los alimentos, forma de cálculo y constantes de digestibilidad del modelo NRC (2001).

Nombre	Abreviación	Constante de digestibilidad	Cálculo
Carbohidratos no fibrosos	CNF	0,98	$100 - [(FDN - NIDN) + PC + EE + Cenizas] \times FAJ^1$.
Extracto Etér.	EE	1	
Proteína Cruda	PC	-	$DVPC^2 = PC \times \exp[-1,2 \times (NIDA/PC)]$
Fibra detergente neutro	FDNPD	0,75	$FDNPD^3 = ((FDN - NIDA) - LDA) \times [1 - (1/(FDN - NIDA))^{0,667}]$

NIDA= Nitrógeno Indigestible Detergente Acido, NIDN = Nitrógeno indigestible en detergente neutro. LDA = Lignina detergente acido, FAJ= Factor de ajuste, DVPC = digestibilidad verdadera de la proteína cruda. FDNPD = Fibra detergente neutro potencialmente digestible.

¹Factor de ajuste propuesto por NRC (2001), para ensilajes de maíz.

²Digestibilidad verdadera de la proteína cruda para forrajes

³La digestibilidad de la FDN resulta de utilizar la constante aplicada a la FDNPD.

En base a las fracciones digeribles se aplican las siguientes ecuaciones para ensilajes de maíz y sorgo de planta entera, obteniéndose la ENI con un consumo a nivel de mantenimiento (1x), NRC (2001).

$$ED^1 (\text{Mcal.kg}^{-1}) = (\text{CNFd}/100) \times 4,2 + (\text{FDNd}/100) \times 4,2 + (\text{PCd}/100) \times 5,6 + (\text{EE}^2/100) \times 9,4 - 0,3.$$

$$EM (\text{Mcal.kg}^{-1}) = (1,01 \times ED - 0,45) + 0,0046 \times (\text{EE}-3).$$

$$\text{ENI} (\text{Mcal.kg}^{-1}) = (EM * 0,703) - 0,19$$

Donde: ED: energía digerible; CNFd: fracción digerible de los carbohidratos no fibrosos; FDNd: fracción digerible de la FDN; PCd: fracción digerible de la proteína cruda y EE: extracto etereo.

A este modelo se le han propuesto mejoras como la de Schwab *et al.* (2003), que consiste en corregir la digeribilidad del almidón en función del contenido de materia seca del ensilaje, utilizando la ecuación propuesta por Phileppau y Michalet-Doreaut (1998) para maíz. En el sorgo se ha cuantificado la pérdida de grano en las heces en función del contenido de materia seca a la cosecha (Le Gall, 2003).

Para la pared celular Schwab *et al.* (2003), proponen sustituir la FDNDP y su constante de digeribilidad, por la FDN digerible *in vitro* durante 48 hs. Traxler *et al.* (1997) desarrollaron a partir de una base importante de especies C4, otras ecuaciones de predicción de la digeribilidad de la FDN utilizando la lignina como predictor.

2 PREDICCIÓN DE LA ENERGÍA NETA DE LACTACIÓN DE ENSILAJES DE SORGO Y MAÍZ. Parte 1. Modelos de predicción a partir de la composición química

Título: “Predicción de la energía neta de lactación de ensilajes de sorgo y maíz.

Parte 1. Modelos de predicción a partir de la composición química.

Larghero, S; Bianco, A; Bentancur, O.

2.1 RESUMEN

Con el objetivo de comparar distintos modelos de predicción del valor energético de ensilajes de sorgo y maíz, a partir de la composición química del ensilaje se evaluaron veintidós ensilajes de sorgo y siete de maíz en términos de la composición química (Ceniza, FDA, FDN, LDA, CNF, PC) y la digestibilidad *in vivo* en capones de la MO, EB y FDN. Se estimó el valor de la ENL de los ensilajes a partir de la digestibilidad *in vivo* y se lo comparó con el valor obtenido mediante la aplicación de modelos matemáticos de predicción empíricos (univariados y multicomponentes) y mecanicistas sumativos, utilizando los parámetros químicos. Los modelos empíricos son los propuestos por PSFTL (1980) y Garret (1980), que son univariados y utilizan a la FDA como predictor y el modelo multicomponente propuesto por Andrieu (1995), que utiliza la FDN, FDA y PC, como predictores. Se estudió el modelo mecanicista sumativo propuesto por el NRC (2001) en dos variantes, que difieren en el factor de ajuste para la estimación de la digestibilidad del almidón. Los modelos propuestos por PSFTL (1980), Garret (1980) y Andrieu (1995) presentaron coeficientes de correlación de -0,02, -0,02 y 0,04 respectivamente y estos no fueron significativos. Las dos variantes del modelo sumativo del NRC (2001), a y b, presentaron coeficientes de correlación significativos de 0,62 y 0,67, respectivamente y diferentes de los demás modelos, pero no entre si.

Abreviaciones: ensilaje, sorgo, maíz, energía, modelos.

2.2 SUMMARY

In order to compare prediction models for the energy value of sorghum and maize silage, from the chemical composition of the silage, a study twenty-two sorghum silages and eight maize silages were assessed in terms of chemical composition (Ash, ADF, NDF, ADL, NFC, CP) and *in vivo* digestibility using wethers for OM, EG and NDF. The NEI value for the silages was estimated from the *in vivo* digestibility and it was compared with the value obtained through the application of empirical prediction models (univariate and multivariate) and mechanistic summative, using chemical parameters. The empirical models proposed by PSFTL (1980) and Garret (1980), which are univariate and use ADF as predictor and the univariate model proposed by Andrieu (1995), which uses NDF, ADF and CP as predictors. The mechanistic summative model proposed by the NRC (2001) was used in two variants, which differ in the adjustment factor for estimation of the digestibility of starch. The empirical models proposed by PSFTL (1980), Garret (1980) and Andrieu (1995) showed -0.02, -0.02 and 0.04 correlation ratios respectively, and were not significant. The two variants of the NCR (2001) summative model, a and b showed significant correlation ratios of 0.62 and 0.67, respectively, which differed from the other models, but not among themselves

Abbreviation: silage, sorghum, maize, energy, models.

2.3 INTRODUCCIÓN

Un uso adecuado de los ensilajes requiere estimar su valor energético, para poder utilizar eficientemente los alimentos de la dieta, a través de una adecuada combinación de los mismos. Esto es particularmente importante en los ensilajes de maíz o sorgo dado la alta inclusión en la alimentación del rodeo lechero durante el periodo invernal en Uruguay. La estimación del contenido de la energía neta obtenida a partir de la digestibilidad *in vivo* es considerada como una de las mejores estimaciones posibles (Chenost y Martin-Rosset, 1985), con la limitante del alto costo y tiempo que conlleva realizar este tipo de mediciones. Por esta razón es que se

utilizan distintos modelos matemáticos de predicción del valor energético de los alimentos, clasificándose en empíricos (univariados y multicomponentes) y mecanicista, utilizando los parámetros químicos de los mismos. Modelos empíricos univariados empleando la fibra detergente acida (FDA) como predictor de la energía neta de lactación (ENL), explicaron un 60 % de la variabilidad de la digestibilidad *in vitro* y un 40 % de la digestibilidad *in vivo* (Weiss, 1998). En tanto los modelos empíricos multicomponentes obtenidos por el método de paso a paso presentan rangos de coeficientes de correlación entre 0,634 - 0,724 utilizando algunas combinaciones de fibra bruta (FB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente acida (FDA), proteína bruta (PB), digestibilidad enzimática y almidón, en unidades forrajeras lecheras (UFL), según Andrieu (1995) y de 0,469 - 0,700 en digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica (DMO), utilizando como predictores solos o algunas combinaciones de lignina detergente acido (LDA), FB, FDA, FDN y PB según Flores (2004), ambos trabajos se realizaron en maíz. El modelo mecanicista sumativo de NRC (2001), incluye a todas las fracciones del alimento con su digestibilidad. Sobre este modelo, Schwab *et al.* (2003), propone mejoras de la predicción de la digestibilidad de la pared celular y del almidón, las dos principales fuentes de variación de los ensilajes de sorgo y maíz de planta entera. Todos estos modelos han sido ajustados en maíz y en poblaciones específicas, no encontrándose modelos que hayan sido testeados en sorgo. El objetivo del trabajo fue determinar el nivel de ajuste de diferentes modelos matemáticos de estimación de la energía neta de lactación de ensilajes de sorgo y maíz a partir de los parámetros químicos de los ensilajes.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se relevaron entre los años 2000 y 2005, veinte y cuatro cultivos de sorgo y ocho de maíz para ensilaje de planta entera en dieciséis productores diferentes, en los departamentos de San José, Canelones y Florida, Uruguay. Los cultivos de sorgo correspondieron a nueve híbridos comerciales, seis graníferos (P8118 y P8419, Pionner; IPB Flash 1, Pau Euralis; Epecuen, Singenta; Relámpago 55R y Relámpago

20R, Surco) en 11 cultivos y tres *bmr* (BMR Silo y BMR Exp, ACA; Dairy Master, Duetto), en 13 cultivos. En el caso del maíz fue una variedad (Cangüe, FAGRO-UDELAR) y seis híbridos doble propósito (8340, Advanta; 6001, Pannar; IPB Silero 785, Pau Eularis; DK 821 y DK 874, Monsanto). La cosecha y confección del ensilaje se realizaron según la maquinaria y la tecnología disponible por cada productor respectivamente.

2.4.1 Composición química del ensilaje ofrecido

A los 60 días post-confección se extrajeron 800 kilogramos de cada uno de los ensilajes a evaluar, en tarrinas herméticas de 200 kg cada una, para la prueba de digestibilidad *in vivo*. La muestra compuesta del ensilaje ofrecido extraída durante los 6 días de mediciones con los capones, constituyó la muestra de ensilaje analizada.

Las muestras de ensilaje fueron secadas a 60 °C (MS60) y a 105 °C (MS105) según AOAC (1990), realizándose el análisis secuencial propuesto por Van Soest (1973) y Van Soest *et al.* (1991), obteniéndose los valores de FDN, FDA, LDA y nitrógeno indigestible en detergente ácido (NIDA). Las cenizas (C), el extracto etéreo (EE) se obtuvieron según AOAC (1990) y la energía bruta (EB) se determinó a través de una bomba calorimétrica (Gallenkmap Autobomb, London UK). Sobre una muestra fresca se realizó el PH según Playne y Mc Donald (1966) y el nitrógeno total expresado como proteína cruda (PC), según AOAC (1990). No se realizaron correcciones por sustancias volátiles, ya que según Petit *et al.* (1997), el secado en estufa a 65 °C es un método aceptable cuando se determina la materia seca (MS) en un alto número de muestras y a nivel de producción.

2.4.2 Digestibilidad *in vivo*

Se determinó la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica (DMO), de la EB (DEB), de la FDN (DFDN) de cada uno de los ensilajes. El cálculo se hizo por diferencia entre la cantidad consumida (C) y excretada en las heces (H), de cada fracción: $Dig = (C-H) / C$. Se utilizaron 6 ovinos machos castrados de la raza Corriedale por material, con un peso vivo promedio de $56,7 \pm 6,04$ kg.

El período de adaptación tuvo una duración de 15 días de manera de obtener un rechazo de aproximadamente el 10 % del ofrecido y el período de mediciones una duración de 6 días, Jarrige (1998). A los ensilajes suministrados se le agregó 2 g de urea por animal y por día. Tanto de las heces como de los rechazos se sacó una submuestra equivalente al 20 % aproximadamente de la cantidad presente, para determinar el contenido de MS a 60 °C durante 48 hs. Estas submuestras fueron guardadas, para conformar una muestra compuesta de heces y una muestra compuesta del rechazo por animal y por material. Diariamente, de cada ofrecido de sorgo se sacó una submuestra de 500g, la cual se pesó y se llevó a estufa a 60 °C durante 48 hs para determinar el contenido de MS. Como con las heces y rechazos, las submuestras fueron guardadas para conformar una muestra compuesta del ofrecido por ensilaje. Las heces y el alimento rechazado se analizaron, siguiendo los procedimientos descritos, para MS60, MS105, FDN, FDA, LDA, NIDA, C, PC, EE y EB.

La determinación de la ENI se realizó según Jarrige (1998), a partir de la DMO y de la DEB.

2.4.3 Modelos matemáticos utilizados

En la tabla 1, se detallan los modelos utilizados para determinar el nivel de ajuste con la ENI estimada a partir de la DMO (ENI). Los dos primeros modelos empíricos univariados (Garret y PSFTL) utilizan el contenido de FDA, como único predictor. Los modelos mecanicistas sumativos segundo y tercero son los propuestos por NRC (2001), que desagrega el alimento en fracciones (Tabla 2) y propone una digestibilidad fija para cada una de las fracciones potencialmente digestibles y aporta modelos para estimar algunas de ellas. Se evaluaron dos alternativas de ajuste de la digestibilidad de los carbohidratos no fibrosos (CNF) para corregir la digestibilidad del almidón según el estado de madurez del cultivo. La primera (NRCa) utiliza el factor de ajuste (FAJ) de los CNF propuesto por NRC (2001). La segunda (NRCb) se elaboró a partir de la ecuación propuesta por Schwab *et al.* (2003) a partir de Phileppau y Michalet-Doreaut (1998) en el caso del maíz y en sorgo se adaptó de Le

Gall (2003), Tabla 2. En ambos casos, se considera que la fracción CNF, esta constituida solamente por almidón. El quinto modelo empírico multicomponente es el propuesto por Andrieu (1995), que fue obtenido por el método de paso a paso a partir de los parámetros químicos de los ensilajes de maíz.

Tabla 1. Modelos utilizados para correlacionar con la ENI estimada a partir de la DMO.

NRC ¹ (a y b)	ED (Mcal.kg ⁻¹) = (CNFd/100) x 4,2 + (FDNd/100) x 4,2 + (PCd/100) x 5,6 + (EE/100) x 9,4 - 0,3. EM (Mcal.kg ⁻¹) = (1,01 x ED - 0,45) + 0,0046 x (EE-3). ENI (Mcal.kg ⁻¹) = (EM * 0,703) - 0,19
Garret	ENI (Mcal.kg ⁻¹) = 2,072 - (0,0176 x % FDA)
PSFTL	ENI (Mcal.kg ⁻¹) = 2,301 - (0,0273 x % FDA)
Andrieu	ENI (Mcal.kg ⁻¹) = 1,7 x ((103,95 + 0,1339 x PCmo + 0,0255 x FDNmo - 0,1358 x FDAMo)/100)

CNFd: fracción digestible de los carbohidratos no fibrosos; FDNd: fracción digestible de la FDN; PCd: fracción digestible de la PC; PCmo: porcentaje de PC de la materia orgánica; FDNmo: porcentaje de FDN de la materia orgánica; FDAMo: porcentaje de FDA de la materia orgánica. ¹ Las ecuaciones se usaron a nivel de mantenimiento (1x).

Tabla 2. Ajustes de la digestibilidad del almidón de las dos variantes del modelo (a y b) del NRC (2001).

Modelos	Ajuste de la digestibilidad del almidón
NRCa	Factor de ajuste para maíz (FAJ). Inmaduro (<25 % MS): 1,00 Normal (32-35 % MS): 0,97 Maduro (>40 % MS): 0,84
NRCb	Digestibilidad almidón del maíz según Schwab <i>et al.</i> (2003). (y=1,34-(0,00135 x % MS, g/kg) y del sorgo adaptado de Le Gall (2003) (y=2,796 x e ^(0,058 x % MS)).

MS= Materia Seca.

En la Tabla 3. Se describe la forma de cálculo de las fracciones digestibles de los alimentos según el modelo de NRC (2001) y que es utilizada en el modelo NRCa y en la variante NRCb.

Tabla 3. Fracciones de los alimentos, forma de cálculo y constantes de digestibilidad del modelo NRC (2001).

Nombre	Abreviación	Constante de digestibilidad	Cálculo
Carbohidratos no fibrosos ¹	CNF	0,98	100-[(FDN-NIDN) + PC + EE + Cenizas].
Extracto Éter.	EE	1	
Proteína Cruda ²	PC	-	DVPC=PC x exp [-1,2 x (NIDA/PC)]
Fibra detergente neutro ³	FDNPD	0,75	FDNPD = ((FDN – NIDA) – LDA) x [1- (1/(FDN – NIDA)) ^{0,667}]

NIDA= Nitrógeno Indigestible Detergente Acido, NIDN = Nitrógeno indigestible en detergente neutro. LDA = Lignina detergente acido. DVPC = digestibilidad verdadera de la proteína cruda. FDNPD = Fibra detergente neutro potencialmente degradable.

¹Es sobre los CNF donde se aplica el factor de ajuste (FAJ)

²Digestibilidad verdadera de la proteína cruda para forrajes.

³La digestibilidad de la FDN resulta de utilizar la constante aplicada a la FDNPD.

2.4.4 Análisis estadístico

Se analizaron en conjunto los datos de sorgo y maíz, eliminándose de la base de datos de composición química los registros que se alejaban más de un desvío estándar y medio. Se estimó el grado de ajuste del modelo por medio del coeficiente de correlación de Pearson (r) entre la ENI obtenida *in vivo* y la obtenida a partir de los modelos estudiados (Tabla 1) y los intervalos de confianza para la verdadera correlación (ρ) usando la transformación Z de Fisher. Se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS Intitute, Cary, NC, 2005).

2.5 RESULTADOS

El consumo promedio de los ensilajes en la prueba *in vivo* fue 1,1 con respecto al nivel de mantenimiento con un desvío estándar de 0,24, por lo cual no se realizó una corrección de la digestibilidad por nivel de consumo.

Los ensilajes relevados fueron de dos especies: maíz y sorgo y dentro de estos últimos se encontraron materiales contrastantes tales como forrajeros y dulces, algunos con genes *bmr*. En la Tabla 4 se presenta la composición química de los ensilajes. Estos presentan una importante variabilidad en el contenido de cenizas,

CNF y LDA. Los sorgos se diferenciaron del maíz por su mayor contenido de LDA y mayor relación LDA/FDN que el maíz.

Tabla 4. Promedios y desvíos estándar de la composición química y pH de los ensilajes.

	MS (g/kg fresco)		CNF (g/kg MS)		FDN (g/kg MS)		FDA (g/kg MS)		LDA (g/kg MS)		PC (g/kg MS)		Ceniza (g/kg MS)		LDA/FDN (g LDA/kg MS FDN)		pH	
	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²
Sorgo	323	78	314	80	536	65	304	38	44	14	77	16	68	24	85	33	4,7	0,3
Maíz	317	75	319	82	545	72	311	52	30	8	76	11	52	15	56	17	4,3	0,2
Promedio	321	69	315	79	538	66	306	41	41	14	77	15	64	23	78	32	4,6	0,3

MS= Materia Seca, CNF: Carbohidratos no fibrosos, FDN: Fibra Detergente Neutro, FDA: Fibra Detergente Acido, LDA: Lignina detergente acido, PC: Proteína cruda, EE: Extracto etéreo, C: Ceniza. ¹Media, ²Desvío estándar.

La EB promedio obtenida fue de 4349 kcal/kg MS y la DMO de 63,2 (Tabla 5). Flores (2004) de 93 muestras de ensilajes de maíz encontró valores promedio de EB, DMO y DFDN promedio de 4455 kcal/kg MS, 68,7 y 51,4 respectivamente, en tanto Barrière *et al.* (2003) reportan valores promedios de 69,7 y 48,7 para DMO y DFDN. En ensilajes de sorgo, Pesce *et al.* (2000) encontraron digestibilidades *in vitro* de la MO de 58,6; Barrière *et al.* (2003) reportan valores promedios de DMO y DFDN para sorgo graníferos, dulce y forrajeros de 65,2, 45,2, 57,8, 40,8, 55,9 y 48,6, respectivamente. Los maíces, respecto al sorgo, presentaron mayor DEB y menor desvío estándar, asimismo tuvieron mayor digestibilidad de la pared celular (60,1 vs 47,5 %) y de la DMO (71,1 vs 60,7 %). La digestibilidad promedio de la MS *in vivo* de todos los ensilajes fue de 61 %.

Tabla 5. Energía Bruta y digestibilidad *in vivo* de la energía, FDN y MO de los ensilajes.

	Sorgo		Maíz		Sorgo + Maíz	
	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²
EB (cal/kg MS)	4294	283	4521	406	4349	325
DEB (%)	62,6	7,5	75,4	4,0	65,7	8,7
DFDN (%)	47,5	11,0	60,1	6,1	50,5	11,3
DMO (%)	60,7	5,2	71,1	3,3	63,2	6,5

EB: Energía bruta, DEB: Digestibilidad de la energía bruta, DFDN: Digestibilidad de la fibra detergente neutro, DMO: Digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica. ¹Media, ²Desvío estándar.

Las correlaciones encontradas entre la ENI y la estimada a partir de los modelos NRCa y NRCb (Tabla 6) fueron significativamente diferentes de cero ($\text{Prob} > |r|$). Cuando se utiliza el intervalo de confianza (IC) para probar si las correlaciones son estadísticamente diferentes, las dos variantes del modelo sumativo del NRC (a y b) no lo son, pero si se separan significativamente con un 90 % de confianza de los demás modelos. El valor promedio de energía obtenido con la ecuación NRCb fue levemente menor que el promedio de la ENI estimada a partir de la DMO *in vivo*, con una diferencia de 0,05 Mcal/kg MS.

Tabla 6. Correlaciones entre la ENI (Mcal/kg MS) estimada a partir de la DMO y los distintos métodos de estimación.

	ENI	NRCa	NRCb	Garret	PSFTL	Andrieu
Media	1,31	1,38	1,26	1,53	1,47	1,45
Desvío estándar	0,23	0,12	0,12	0,07	0,11	0,09
r^1		0,62 a	0,67 a	-0,02 b	-0,02 b	0,04 b
$\text{Prob} > r $		0,0004	<,0001	0,92	0,90	0,84

¹ Coeficiente de correlación Pearson; letras diferentes significa que no se superponen los intervalos de confianza de r para P=90 %. ENI: Energía neta de lactación estimada a partir de ensayos *in vivo*, NRCa: Estimación de la ENI según NRC (2001), con factor de ajuste de los carbohidratos no fibroso, NRCb: Estimación de la ENI según NRC (2001), ajustando la digestibilidad del almidón de maíz según Schwab *et al.* (2003) y del sorgo adaptado de Le Gall (2003), Garret: Estimación de la ENI según Garret (1980), PSFTL: Estimación de la ENI según PSFTL (1980), Andrieu: Estimación de la ENI según Andrieu (1995).

2.6 DISCUSIÓN

El bajo ajuste de los modelos de predicción empíricos univariados, Garret y PSFTL, se debe a que la FDA explica menos del 60 % de la digestibilidad *in vitro* y menos de 40 % de la digestibilidad *in vivo* (Weiss, 1998). El estimar la energía utilizando una sola fracción tiene la limitante que es insensible al cambio en concentración de las otras fracciones, ya que se asume que es el único que afecta la digestibilidad o que las demás están fuertemente correlacionadas. Barrière *et al.* (2003) encontró que la concentración del almidón en ensilajes de maíz y la digestibilidad de la FDN (DFDN) tienen una correlación cercana a cero (-0,01), explicando entre los dos el 90 % de la variación de la DMO. Como principales

limitantes Weiss (1993) reportó que dependen de la población donde fueron generados (empíricos), no contempla los cambios en el crecimiento y en el almacenamiento de los alimentos, fueron colectados en el pasado y no representan adecuadamente los alimentos actuales.

El modelo empírico multicomponente de Andrieu, tampoco es un buen estimador (Agneessens *et al.*, 1995), ya que el contenido de FDN no es buen estimador de la DMO (Barrière *et al.*, 2003). Los modelos multicomponentes empíricos, se originan de ecuaciones de regresión con varios componentes de los alimentos, son levemente más precisos que los univariados, menos sensibles al error analítico, pero por la posible colinearidad de las variables independientes, son más específicos con respecto a la población que los originó (Weiss, 1998).

Los modelos NRCa y NRCb alcanzaron una mejor predicción porque consideran el contenido de todas las fracciones del alimento, así como la digestibilidad de cada una de ellas, representado más fuentes de variación que los empíricos univariados y se pueden utilizar en la mayoría de los alimentos (Weiss, 1998).

Las dos fracciones que presentan mayor variación en su digestibilidad son la FDN y los CNF, en el primer caso se estima la fracción potencialmente degradable a través del contenido de lignina descontando el NIDA como compuesto indigestible (Conrad, 1984; Weiss *et al.*, 1992). Van Soest (1994) considera el contenido de lignina como el principal factor limitante de la digestibilidad de la pared celular, basándose en que la lignina impediría el acceso de los microorganismos al estar recubriendo parte de la hemicelulosa y de la celulosa.

El ajuste en los CNF considera las variaciones que ocurren en la digestibilidad del almidón durante el ciclo del cultivo. Todas las correcciones de la digestibilidad emplean el % MS al momento de la cosecha como la variable indicativa de la madurez de cultivo. La diferencia entre los modelos NRC radica en el ajuste de la digestibilidad de los CNF, el modelo NRCa utiliza el FAJ propuesto por NRC (2001) y el NRCb utiliza ecuaciones para maíz y sorgo, en el caso del maíz

de Schwab *et al.* (2003) obtenido de Phileppau y Michalet-Doreaut (1998) y para sorgo modificado de Le Gall (2003).

El almidón, tanto en el maíz como en el sorgo baja su digestibilidad a medida que se acerca a su madurez. Esta disminución estaría explicada por el aumento del contenido de prolinas, siendo uno de los constituyentes de la matriz proteína-almidón. Las cuales serían las responsables de enlentecer la degradación del almidón por ser hidrofobicas (Hoffman *et al.*, 2011).

La otra fuente de pérdida de energía es el pasaje de grano entero por el tracto gastrointestinal del rumiante, particularmente importante en el caso del sorgo, encontrándose hasta el 60 % del grano en las heces (Owen, 1967).

Aunque los modelos NRCa y b, son significativos, estos explican un 38,4 y 44,9 % de la variabilidad, lo que trae implícito que más de la mitad de la variabilidad no está explicada por estos modelos. Para mejorar el modelo, Schwab *et al.* (2003) propuso utilizar la digestibilidad de la FDN *in vitro* (ivDFDN) a las 48 horas. Sin embargo, Spanghero *et al.* (2009) encontró un R^2 de 0,093 cuando realizó la regresión entre la DFDN calculada a partir de la concentración de LDA y la ivDFDN en un total de 173 muestras de ensilajes de maíz.

2.7 CONCLUSIONES

Los modelos matemáticos empíricos univariados en base a FDA no presentaron niveles de ajuste aceptables y no deberían ser utilizados.

El modelo matemático empírico multicomponente tampoco logró un buen ajuste, presentado las mismas limitantes que los modelos empíricos univariados.

El modelo mecanicista sumativo propuesto por el NRC (2001), NRCa y su variante, NRCb, presentaron niveles moderados de ajuste.

2.8 BIBLIOGRAFÍA

- Agneessens, R. Dardenne, P. Lecomte, P. Dujoux, P. Fourneau, T. 1995. Prévicion de la digestibilidad du maïs ensilage par l'étud dégradabilité enzymatique des parois cellulaires. *Annales de Zootechnie*. 44: 39.
- Andrieu, J. 1995. Prévicion de la digestibilié et de la valeur énergétique du mais fourrage à ltat frais. *INRA Prod. Anim.* 8: 273-274.
- AOAC 1990. Association of oficial agricultural chemists. Official methods of analysis. 15th ed. Arlinton V.A. USA. Association of Oficial Agricultural Chemist. 1140p.
- Barrière, Y; Guillet, C; Goffner, D; Pichon, M. 2003. Genetic variation and breeding strategies for improved cel wall digestibility in annual forage crops. A review. *Anim. Res.* 52: 193-228.
- Chenost, M. Martin-Rosset, W. 1985. Comparision entre espèces (mouton, cheval, bovin) de la digestibilité et des quantités ingérées des fourrages verts. *Annales de Zootechnie*. 34: 291-312.
- Conrad, H. R., W. P. Weiss, W. O. Odwongo, and W. L. Shockey.1984. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. *J. Dairy Sci.* 67:427-436.
- Flores, F.C. 2004. Factores que afectan a la calidad del ensilaje de hierba y a la planta de maíz forrajero en Galicia y evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de estos forrajes ensilados. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Politecnica de Madrid. 353p.
- Garret, W. 1980. Energy utilization of growing catle as determined in seventytwo comparative laughter experiments. In: *Energy Metabolism*, L. E. Mount (Ed.), Eur. Assoc. Prod. Publ. London, Butterworth. 26: 3-7p.

- Hoffman, P.C.; Shaver, R.D. Corn Biochemistry: Factors related to Starch digestibility in ruminants. (en línea). University of Wisconsin. Consultado jun.2011. Disponible en <http://www.uwex.edu/ces/dairynutrition/documents/CornBiochemistryE-2.pdf>. 12p.
- Jarrige, R. 1988. Alimentation des Bovins, ovins et caprins. Paris. INRA. 476p.
- Le Gall, A. 2003. Sorgho grain ensilaje. Institut de L'Élevage. 28p.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle, Seventh revised edition, 2001. (en línea). Washington. National Academy Press. Consultado abr.2007. Disponible en http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=9825.
- Owen, F.G. 1967. Factors affecting nutritive value of corn and sorghum silage. *Journal of Dairy Science*. 50: 404-416.
- Penn State Forage Testing Laboratory. 1980. Penn State Forage Testing Service Revised Regression Equations. DSE-80-56.
- Pesce, D.M.C; Gonçalves, L.C; Rodrigues, N.M; Borges, I; Rodrigues, J.A.S. 2000. Porcentagem, perda e digestibilidade in vitro da material seca das silagens de 20 genótipos de sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 52:978-987.
- Petit, H.V; Lafreniere, C; Viera, D.M. 1997. A comparison of methods to determine dry matter in silages. *Journal Dairy Science*. 80:558:562.
- Phileppeau, C.; Michalet-Doreaut, B. 1998. Influence of genotype and ensiling of corn grain on in situ degradation of starch in the rumen. *Journal Dairy Science*. 81:2178:2184.
- Playne, M., McDonald, P. 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal Science Food Agriculture* 17:264-268.

- SAS. 2005. SAS Statistical Analysis Systems, 9.1.3. User's Guide. SAS Institute Incorporation, Cary, NC.
- Schwab, E.C.; Shaver, R.D.; Lauer, J.G. Coors, J.G. 2003. Estimating silage energy value and milk yield to rank corn hybrids. *Animal Feed Science and Technology*. 109: 1-18.
- Spanghero, M; Zanfi, C; Rapetti, L; Colombini, S. 2009. Impact of NDF degradability of corn silage on the milk yield potential of dairy cows. *Ital.J.Anim.Sci*. 8:211-220.
- Van Soest, P. 1994. *Nutritional Ecology of the ruminant*. 2ed. Ithaca, New York: Cornell University, 1994. 476p.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci*. 74, 3583–3597.
- Van Soest, P. J. 1973. Collaborative study of acid detergent fiber and lignin. *J. Assoc. offc . Anal*. 56:781.
- Weiss, W. 1998. Symposium: Energy Availability. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 81:830-839.
- Weiss, W. 1993. Symposium: Prevailing concepts in energy utilization by ruminants. Predicting energy values in feeds. *Journal Dairy Science*. 76:1802-1811.
- Weiss, W.; Conrad, H. R.; St. Pierre, N. R. 1992. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Anim. Feed Sci. Technol*. 39: 95–110.

3 PREDICCIÓN DE LA ENERGÍA NETA DE LACTACIÓN DE ENSILAJES SORGO Y MAÍZ. Parte 2. Predicción a partir del material original

Título: “Predicción de la energía neta de lactación de ensilajes de sorgo y maíz. Parte 2. Predicción a partir del material original.”
Larghero, S; Bianco, A; Bentancur, O.

3.1 RESUMEN

Con el objetivo de comparar distintos modelos de predicción del valor energético de ensilajes de sorgo y maíz, a partir de la composición química del material previo al ensilado, se evaluaron veintidós cultivos de sorgo y siete de maíz en términos de la composición química (Ceniza, FDA, FDN, LDA, CNF, PC) y la digestibilidad *in vivo* en capones de la MO, EB y FDN. Se estimó el valor de la ENI de los ensilajes a partir de la digestibilidad *in vivo* y se lo comparó con el valor obtenido mediante la aplicación de modelos de predicción empíricos (univariados y multicomponentes) y un modelo mecanicista sumativo, utilizando los parámetros químicos del material previo al ensilado (Mat.Or). Los modelos empíricos son los propuestos por PSFTL (1980) y Garret (1980), que utilizan a la FDA como predictor y el modelo multicomponente propuesto por Andrieu (1995), que utiliza la FDN, FDA y PC, como predictores. Se estudió el modelo mecanicista sumativo propuesto por el NRC (2001) en dos variantes, que difieren en el factor de ajuste para la estimación de la digestibilidad del almidón. Los coeficientes de correlación no presentaron diferencias significativas entre sí cuando se utilizaron todos los materiales. Cuando la base de datos se restringe a los materiales con más de 28 % de MS, los modelos empíricos no fueron significativos, pero los mecanicistas sumativos si lo fueron, presentando coeficientes de correlación 0,76 y 0,72, donde la variante NRCa presento diferencias significativas con los modelos empíricos y la variante NRCb no.

Abreviaciones: ensilaje, sorgo, maíz, energía y material original.

3.2 SUMMARY

In order to compare prediction models for the energy value of sorghum and maize silage, from the chemical composition of the material prior to placing in the silo, a study twenty-two sorghum and seven maize cultivations were assessed in terms of their chemical composition (Ash, ADF, NDF, ADL, NFC, CP) and in vivo digestibility in wether of OM, BE and NDF. The NEI value for the silages was estimated from the in vivo digestibility and it was compared with the value obtained through the application of empirical prediction models (univariate and multivariate) and mechanistic summative, by using the chemical parameters of the material prior to placing in the silo. The empirical models are those proposed by PSFTL (1980) and Garret (1980), which are univariate and use the ADF as predictor and the univariate model proposed by Andrieu (1995), which uses the NDF, ADF and CP as predictors. The mechanistic summative model proposed by the NRC (2001) was studied in two variants, which differ in the adjustment factor for estimation of the digestibility of starch. The correlation ratios did not show significant differences among themselves when all the materials were used. When the basis is restricted to materials with DM in excess of 28 %, the empirical models were not significant, although the two variants a and b of the NRC summative model were significant. Correlation ratios were 0.76 and 0.72, respectively, the NRCa variant was different from the mentioned models and the NRCb model was not.

Abbreviation: silage, sorghum, maize, energy and original material.

3.3 INTRODUCCIÓN

Para una adecuada utilización de los ensilajes, es necesaria la planificación de la alimentación con suficiente antelación al momento del suministro. Sin embargo, el correcto muestreo de los ensilajes es engorroso y además al obtenerse los resultados muy cerca del momento de utilización, se limita la capacidad de ajuste de la alimentación. Por lo tanto realizar las estimaciones del valor energético del ensilaje a partir del material original, permitiría obtener la muestra en forma simple y con suficiente anticipación. Andrieu (1995) encontró diferencias despreciables en maíz

entre el valor de la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) obtenido en el material original y en el ensilaje. Flores (2004) encontró una mejora en la correlación entre los predictores de la composición química y la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica (MO), con los materiales con más de 28 % de materia seca (MS). La estimación de la energía neta de lactación (ENL) de los ensilajes de planta entera de maíz y de sorgo se realiza a través de modelos empíricos univariados (Garret, 1980; PSFTL, 1980) o multicomponentes (Flores, 2004; Andrieu, 1995) y mecanicista sumativos (NRC, 2001; Schwab *et al.*, 2003) que utilizan los parámetros químicos de los ensilajes. El objetivo del trabajo es medir el nivel de ajuste del valor de energía predicho utilizando modelos que se basan en los parámetros químicos del material original con respecto al valor obtenido a partir de estimaciones de la ENL a partir de la DMO *in vivo* del ensilaje.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se relevaron entre los años 2000 y 2005, veinte y cuatro cultivos de sorgo y ocho de maíz para ensilaje de planta entera en dieciséis productores diferentes, en los departamentos de San José, Canelones y Florida, Uruguay. Los cultivos de sorgo eran nueve híbridos utilizados a nivel comercial, seis graníferos (P8118 y P8419, Pioneer; IPB Flash 1, Pau Euralis; Epecuen, Singenta; Relámpago 55R y Relámpago 20R, Surco) en 11 cultivos y tres *bmr* (BMR Silo y BMR Exp, ACA; Dairy Master, Duetto), en 13 cultivos. En el caso del maíz fue una variedad (Cangüe, FAGRO-UDELAR) y seis híbridos doble propósito (8340, Advanta; 6001, Pannar; IPB Silero 785, Pau Eularis; DK 821 y DK 874, Monsanto). La cosecha y realización del silo se confeccionaron según la maquinaria y la tecnología disponible por cada productor respectivamente.

3.4.1 Composición química del ensilaje ofrecido

De cada cultivo se extrajeron a los 60 días de realizado los ensilados, 800 kilogramos, en tarrinas herméticas de 200 kg cada una, para la prueba de digestibilidad *in vivo*. La muestra compuesta del ensilaje ofrecido (E) extraída

durante los 6 días de mediciones con los capones, constituyó la muestra de ensilaje analizada.

Las muestras de ensilaje fueron secadas a 60 °C (MS60) y a 105 °C (MS105) según AOAC (1990), realizándose el análisis secuencial propuesto por Van Soest (1973) y Van Soest *et al.* (1991), obteniéndose los valores de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente acida (FDA), lignina detergente acida (LDA) y nitrógeno indigestible en detergente acido (NIDA). Las cenizas (C), el extracto éter (EE) se obtuvieron según AOC (1990) y la energía bruta (EB) se determino a través de una bomba calorimétrica, (Gallenkmap Autobomb, London UK). Sobre una muestra fresca se realizo el pH según Playne y Mc Donald (1966) y el nitrógeno total expresado como proteína cruda (PC), según AOC (1990). No se realizaron correcciones por sustancias volátiles, ya que según Petit *et al.* (1997), el secado en estufa a 65 °C es un método aceptable cuando se determina MS en un alto número de muestras y a nivel de producción.

3.4.2 Composición química del material original

Del material original (Mat.Or) se tomaron muestras compuestas de 3 kg al momento de la confección de los ensilajes, con las mismas técnicas ya mencionadas del ensilaje, se realizaron los análisis de MS60, MS105, FDN, FDA, LDA, C, EE, EB y PC.

3.4.3 Digestibilidad *in vivo*

La DMO de cada material se realizó en 6 capones adultos de la raza Corriedale (PV=56,7 ± 6,04 kg) en jaulas de digestibilidad, con un período de adaptación de 15 días y un periodo de mediciones de 6 días, ajustándose el ofrecido de manera de obtener un rechazo del 10 % (Jarrige, 1998). A los ensilajes suministrados se le agregó 2 g de urea por animal y por día. Diariamente se tomo una submuestra del silo ofrecido y el 20 % de las heces colectadas dos veces al día, las cuales se secaron en estufa a 60 °C y se las molió, componiendo una muestra única. Las heces y el alimento rechazado se analizaron, siguiendo los procedimientos descritos, para MS60, MS105, FDN, FDA, LDA, NIDA, C, PC, EE y EB, asimismo

se obtuvieron los valores de digestibilidad *in vivo* de la MO (DMO), EB (DEB) y FDN (DFDN).

La determinación de la energía neta de lactación (ENI) se realizó según Jarrige (1998), a partir de la DMO y DEB.

3.4.4 Modelos utilizados

En la tabla 1, se detallan los modelos utilizados para determinar el nivel de ajuste de la ENI obtenida a partir de la DMO del ensilaje, con los valores de ENI estimado a partir del MatOr. Los dos primeros modelos empíricos univariados (Garret, PSFTL) utilizan el contenido de FDA, como único predictor. Los modelos mecanicistas sumativos segundo y tercero es el propuesto por NRC (2001), que desagrega el alimento en fracciones (tabla 3). Se evaluaron dos alternativas de ajuste de la digestibilidad de los carbohidratos no fibroso (CNF) para corregir la digestibilidad del almidón según el estado de madurez del cultivo, la primera, NRCa, utiliza el factor de ajuste (FAJ) de los CNF propuesto por NRC (2001), la segunda, NRCb, es utiliza la ecuación propuesta por Schwab *et al.* (2003) a partir de Phileppau y Michalet-Doreaut (1998) en el caso del maíz, y la adaptada de Le Gall (2003) para sorgo, tabla 2. En ambos casos, se considera que la fracción CNF, esta constituida solamente por almidón. El quinto modelo empírico multicomponente es el propuesto por Andrieu (1995), Andrieu, que se obtuvo por el método de paso a paso a partir de los parámetros químicos de los ensilajes de maíz.

Tabla 1. Modelos utilizados para estimar la ENI del material original (MatOr).

NRC ¹ (a y b)	ED (Mcal.kg ⁻¹) = (CNFd/100) x 4,2 + (FDNd/100) x 4,2 + (PCd/100) x 5,6 + (EE/100) x 9,4 - 0,3. EM (Mcal.kg ⁻¹) = (1,01 x ED - 0,45) + 0,0046 x (EE-3). ENI (Mcal.kg ⁻¹) = (EM * 0,703) - 0,19
Garret	ENI (Mcal.kg ⁻¹) = 2,072 - (0,0176 x % FDA)
PSFTL	ENI (Mcal.kg ⁻¹) = 2,301 - (0,0273 x % FDA)
Andrieu	ENI (Mcal.kg ⁻¹) = 1,7 x ((103,95 + 0,1339 x PCmo + 0,0255 x FDNmo - 0,1358 x FDAMo)/100)

ED: energía digestible; CNFd: fracción digestible de los carbohidratos no fibrosos; FDNd: fracción digestible de la FDN; PCd: fracción digestible de la PC; EE: Extracto etéreo; EM: energía metabolizable; ENI: energía neta de lactación; PCmo: porcentaje de PC de la materia orgánica; FDNmo: porcentaje de FDN de la materia orgánica; FDAMo: porcentaje de FDA de la materia orgánica.

¹ Las ecuaciones se usaron a nivel de mantenimiento (1x).

Tabla 2. Ajustes de la digestibilidad del almidón de las dos variantes del modelo (a y b) del NRC (2001).

Modelos	Ajuste de la digestibilidad del almidón
NRCa	Factor de ajuste para maíz (FAJ). Inmaduro (<25 % MS): 1,00; Normal (32-35 % MS): 0,97; Maduro (>40 % MS): 0,84
NRCb	Digestibilidad almidón del maíz según Schwab <i>et al.</i> (2003) ($y=1,34-(0,00135 \times MS, \text{ g/kg})$) y del sorgo adaptado de Le Gall (2003) ($y=2,796 \times e^{(0,058 \times \% \text{ MS})}$).

MS: Materia seca.

En la Tabla 3. Se describe la forma de cálculo de las fracciones digestibles de los alimentos según el modelo de NRC (2001).

Tabla 3. Fracciones de los alimentos, forma de cálculo y constantes de digestibilidad del modelo NRC (2001).

Nombre	Abreviación	Constante de digestibilidad	Calculo
Carbohidratos no fibrosos	CNF	0,98	$100-[(\text{FDN}-\text{NIDN}) + \text{PC} + \text{EE} + \text{Cenizas}]$
Extracto Etér	EE	1	
Proteína Cruda ¹	PC	-	$\text{DVPC}=\text{PC} \times \exp [-1,2 \times (\text{NIDA}/\text{PC})]$
Fibra detergente neutro ²	FDNPD	0,75	$\text{FDNPD} = ((\text{FDN} - \text{NIDA}) - \text{LDA}) \times [1 - (1/(\text{FDN} - \text{NIDA}))^{0,667}]$

FDN: Fibra detergente neutro; NIDA= Nitrógeno Indigestible Detergente Acido, NIDN = Nitrógeno indigestible en detergente neutro. LDA = Lignina detergente acido. DVPC = digestibilidad verdadera de la proteína cruda. FDNPD = Fibra detergente neutro potencialmente degradable.¹ Digestibilidad verdadera de la proteína cruda para forrajes

3.4.5 Análisis estadístico

Se analizaron en conjunto los datos de sorgo y maíz, eliminándose de la base de datos de composición química los registros que se alejaban más de un desvío estándar y medio. Además se analizaron los materiales con contenido de MS mayor a 28 % en el E y/o en Mat.Or, ya que mejoraría la predicción (Flores, 2004). Se estimó el grado de ajuste del modelo por medio del coeficiente de correlación de Pearson (r) entre la ENI obtenida *in vivo* de los ensilajes y la calculada del Mat.Or a partir de los modelos estudiados (Tabla 1) y el intervalo de confianza para la verdadera correlación (ρ) usando la transformación Z de Fisher. La comparación entre la composición del MatOr y E se realizó para EB, CNF y FDN según un

análisis de muestras apareadas usando el test de Tukey, con un 95 % de confianza. Se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS Intitute, Cary, NC, 2005).

3.5 RESULTADOS

El consumo promedio de los ensilajes fue 1,1 con respecto al nivel de mantenimiento con un desvío estándar de 0,24, por lo cual no se realizó una corrección de la digestibilidad por nivel de consumo.

En la tabla 4 se presenta la composición química del ensilaje y del material original de las dos especies, maíz y sorgo, dentro de estos últimos se encuentran materiales contrastantes como graníferos, forrajeros y dulces, algunos con genes *bmr*.

Tabla 4. Valores promedios y desvío estándar de la composición química del material original (MatOr) y del ensilaje (E).

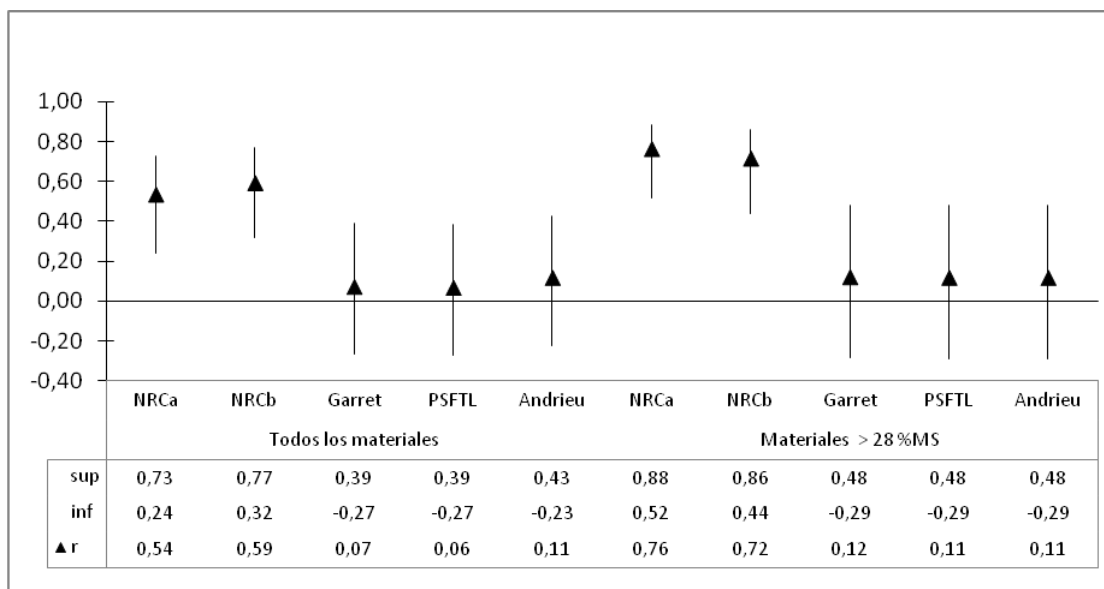
	MS		CNF		FDN		FDA		LDA		PC		EE		Ceniza		pH	
	(g /kg fresco)		(g/kg MS)		(g/kg MS)		(g/kg MS)		(g/kg MS)		(g/kg MS)		(g/kg MS)		(g/kg MS)			
	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²	M ¹	S ²
MatOr	338	58	309	55	542	59	292	36	41	13	73	14	29	11	71	16	-	4,6
E	321	75	315	79	538	66	306	41	41	14	77	15	29	7	64	23	-	0,3

MS= Materia Seca, CNF: Carbohidratos no fibrosos, FDN: Fibra Detergente Neutro, FDA: Fibra Detergente Acido, LDA: Lignina detergente acido, PC: Proteína cruda, EE: Extracto etéreo, C: Ceniza, Mat.Or=material original, E=Ensilaje. ¹Media; ² Desvío Estándar.

No se encontraron diferencias significativas entre las medias de la EB, la FDN y los CNF de los E y de los Mat.Or utilizando todos los registros o cuando se utilizaron los registros con más de 28 % de MS (datos no mostrados).

Cuando se utilizaron todos los registros y se correlaciona la ENI con las estimaciones a partir del Mat.Or (Figura 1), los modelos NRCa y NRCb, son significativamente diferentes de cero ($\text{Prob} > |r|$), cuando se utiliza los intervalos de confianza (IC) para testear si son estadísticamente diferentes, los dos modelos NRC no lo son y no se separaron significativamente con un 90 % de confianza de los demás modelos.

Figura 1. Correlación¹ e intervalos de confianza de la ENI calculada a partir de la DMO *in vivo* con la ENI obtenida de los modelos matemáticos utilizando el material original (MatOr), de todos los materiales y de los que tienen más de 28 % MS.



¹ Pearson, intervalos de confianza al 90 %, NRCa: Estimación de la ENI según NRC (2001), con factor de ajuste de los carbohidratos no fibroso, NRCb: Estimación de la ENI según NRC (2001), ajustando la digestibilidad del almidón de maíz según Schwab *et al.* (2003) y del sorgo adaptado de Le Gall (2003), Garret: Estimación de la ENI según Garret (1980), PSFTL: Estimación de la ENI según PSFTL (1980), Andrieu: Estimación de la ENI según Andrieu (1995). Todos los materiales N=29, Materiales >28 % MS N=19.

En cambio cuando se utilizaron los materiales con más de 28 % de MS (Figura 1), los coeficientes de correlación pasaron de 0,54 a 0,76 y 0,59 a 0,72 respectivamente, aumentando el ajuste o exactitud de los modelos NRCa y NRCb, siendo ambas correlaciones significativamente diferentes de cero. El modelo NRCa se diferenció significativamente de los modelos Garret, PSFTL y Andrieu, por el IC, en tanto NRCb, no se diferencio significativamente del resto.

3.6 DISCUSIÓN

Se corroboraron los resultados de Phipps y Wilkinson (1985), en donde no se encontró diferencias significativas en la composición química del Mat.Or y el E.

La tendencia esperada es al aumento de la FDN de forma pasiva en los materiales con menos de 28 % de MS por la pérdida de materia seca no celulósico en

el efluente y/o como gas en la fermentación (Michalet-Doureau y Demarquilly, 1981), citado por Flores (2004), resultado que no se pudo corroborar en este trabajo. Andrieu (1995) y Flores (2004), encontraron que las diferencias entre el Mat.Or y el E son despreciables o nulas en ensilajes de maíz con más de 28 % de MS.

El bajo ajuste de los modelos de predicción empíricos univariados, Garret, PSFTL, se debe a que la FDA explica menos del 60 % de la digestibilidad *in vitro* y menos de 40 % de la digestibilidad *in vivo* (Weiss, 1998). El estimar la energía utilizando una sola fracción tiene la limitante que es insensible al cambio en concentración de las otras fracciones, ya que se asume que es la única que afecta la digestibilidad o que las demás están fuertemente correlacionadas. Barrière *et al.* (2003) encontró que la concentración del almidón en ensilajes de maíz y la digestibilidad de la FDN (DFDN) tienen una correlación cercana a cero (-0,01), explicando entre los dos el 90 % de la variación de la DMO. Como principales limitantes Weiss (1993) reportó que dependen de la población donde fueron generados (empíricos), no contempla los cambios en el crecimiento y en el almacenamiento de los alimentos, fueron colectados en el pasado y no representan adecuadamente los alimentos actuales.

Los modelos empíricos multicomponentes, se originan de ecuaciones de regresión con varios componentes de los alimentos, son levemente más precisos que los univariados, menos sensibles al error analítico, pero por la posible colinearidad de las variables independientes, son más específicos con respecto a la población que los origino (Weiss, 1998).

Los modelos NRCa y NRCb alcanzaron una mejor predicción porque consideran el contenido de todas las fracciones del alimento, así como la digestibilidad de cada una de ellas, representado más fuentes de variación que los empíricos univariados y se pueden utilizar en la mayoría de los alimentos (Weiss, 1998).

Cuando se analizan todos los ensilajes (N=29), presentaron una alta variabilidad de % de MS al momento de la cosecha, entre 21,4 y 45,8 % MS del

Mat.Or. Las correlaciones encontradas entre la ENI y la estimada a partir de los modelos NRCa y NRCb fueron significativamente diferentes de cero ($\text{Prob} > |r|$) y no lo fueron el resto de los modelos. Cuando se utiliza los intervalos de confianza para testear si son estadísticamente diferentes, los dos modelos NRC no lo son, pero no se separan significativamente con un 90 % de confianza de los demás modelos.

Cuando se ajusta el modelo para los ensilajes con más de 28 % de MS (N=19), aumentan los coeficientes de correlación de 0,54 a 0,76 a 0,59 a 0,72, para NRCa y b respectivamente. El modelo NRCa se diferenció significativamente de los modelos Garret, PSFTL y Andrieu, en tanto NRCb no se diferenció del resto. La explicación de esta diferencia estaría dado porque el contenido ideal de MS de los ensilajes de maíz según Van Soest (1994), Nussio (1999) y Brondani *et al.* (2000) citados por Rosa *et al.* (2004), estaría entre 30 y 35 % de MS, para evitar pérdidas por efluentes y gases, permitiendo una adecuada fermentación láctica y por lo tanto conservando el valor nutritivo. En el caso del sorgo, Xiccato *et al.* (1994) citado por Ribeiro (2007), indica que las pérdidas por efluentes son muy pequeñas cuando la MS del forraje es superior a 25 % y su producción virtualmente cesa con 29 % de MS.

La variación explicada por NRCa y b con los materiales con más de 28 % de MS es de un 57,7 y 51,8 % respectivamente. Schwab *et al.* (2003) propuso para mejorar la predicción utilizar la digestibilidad de la FDN *in vitro* (ivDFDN) a las 48 horas, en tanto Spanghero *et al.* (2009) encontró un R^2 de 0,093 cuando realizó la regresión entre la DFDN calculada a partir de la concentración de LDA y la ivDFDN en un total de 173 muestras de ensilajes de maíz.

3.7 CONCLUSIONES

Utilizar la información de composición química del MatOr para predecir el contenido de ENI del ensilado presenta ventajas prácticas y niveles de ajuste o exactitud moderados cuando se utiliza los materiales con más de 28 % de MS.

3.8 BIBLIOGRAFÍA

- Andrieu, J. 1995. Prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique du maïs fourrage à l'état frais. INRA Prod. Anim. 8: 273-274.
- AOAC 1990. Association of official agricultural chemists. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington V.A. USA. Association of Official Agricultural Chemist. 1140p.
- Barrière, Y; Guillet, C; Goffner, D; Pichon, M. 2003. Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops. A review. Anim. Res. 52: 193-228).
- Brondani, I.L.; Alves, D.C.; Bernardes, R.A.C. 2000. Silagem de alta qualidade para bovinos. In: RESTLE, J. (Ed.) Eficiência na produção de bovinos de corte. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. p.147-184.
- Flores, F.C. 2004. Factores que afectan a la calidad del ensilaje de hierba y a la planta de maíz forrajero en Galicia y evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de estos forrajes ensilados. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. 353p.
- Garret, W. 1980. Energy utilization of growing cattle as determined in seventytwo comparative slaughter experiments. In: Energy Metabolism, L. E. Mount (Ed.), Eur. Assoc. Prod. Publ. London, Butterworth. 26: 3-7p.
- Jarrige, R. 1988. Alimentation des Bovins, ovins et caprins. Paris. INRA. 476p.
- Le Gall, A. 2003. Sorgho grain ensilage. Institut de l'Élevage. 28p.
- Michalet-Doreau, B. Demarquilly, C. 1981. Prévision de la valeur énergétique des ensilages d'herbe. En: Prévision de la valeur nutritive des aliments des Ruminants. 105-117. Ed. INRA publications, Paris, Francia. Microbiology.

- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle, Seventh revised edition, 2001. (en línea). Washington. National Academy Press. Consultado abr.2007. Disponible en http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=9825.
- Nussio, L.G. Silagem de milho. In: Peixoto, A.M. 1999. Alimentação suplementar. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz". 27-46p.
- Penn State Forage Testing Laboratory. 1980. Penn State Forage Testing Service Revised Regression Equations. DSE-80-56.
- Petit, H.V; Lafreniere, C; Viera, D.M. 1997. A comparison of methods to determine dry matter in silages. *Journal Dairy Science*. 80:558:562.
- Phileppeau, C.; Michalet-Doreaut, B. 1998. Influence of genotype and ensiling of corn grain on in situ degradation of starch in the rumen. *Journal Dairy Science*. 81:2178:2184.
- Phipps, R. y Wilkinson, M. 1985. Maize Silage. Chalcombe Publ., Marlow, U.K. 48p.
- Playne, M., McDonald, P. 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal Science Food Agriculture* 17:264-268.
- Ribeiro. L, Rodriguez. N, Gonçalves. L, Ananias de Assis Pires. D. 2007. Consideraciones sobre ensilajes de sorgo, Jornada sobre Producción y Utilización de Ensilajes. UNS, Bahía Blanca, Bs. As. Consultado set. 2008. Disponible en: http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1703.pdf
- Rosa. J, Souza da Silva. J, Restle. J, Pascoal. L, Brondani. I, Alves. D, Kellermann de Freitas, A. 2004. Avaliação do comportamento agrônômico da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L.). *R. Bras. Zootec.*, vol.33, n.2, pp. 302-312.

- SAS, 2005. SAS Statistical Analysis Systems 2000, 9.1.3. User's Guide. SAS Institute Incorporation, Cary, NC.
- Schwab, E.C.; Shaver, R.D.; Lauer, J.G. Coors, J.G. 2003. Estimating silage energy value and milk yield to rank corn hybrids. *Animal Feed Science and Technology*. 109: 1-18.
- Spanghero, M; Zanfi, C; Rapetti, L; Colombini, S. 2009. Impact of NDF degradability of corn silage on the milk yield potential of dairy cows. *Ital.J.Anim.Sci*. 8:211-220.
- Van Soest, P. 1994. *Nutritional Ecology of the ruminant*. 2ed. Ithaca, New York: Cornell University, 1994. 476p.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci*. 74, 3583–3597.
- Van Soest, P. J. 1973. Collaborative study of acid detergent fiber and lignin. *J. Assoc. offc . Anal*. 56:781.
- Weiss, W. 1998. Symposium: Energy Availability. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 81:830-839.
- Weiss, W. 1993. Symposium: Prevailing concepts in energy utilization by ruminants. Predicting energy values in feeds. *Journal Dairy Science*. 76:1802-1811.
- Xiccato, G.; Cinetto, M.; Carazzolo, A. 1994. The effect of silo type and dry matter content on the maize silage fermentation process and ensiling loss. *Anim. Feed. Sci. Techn.*, n.49, p311- 323.

4 DISCUSIÓN GENERAL

El uso de ensilajes de planta entera de maíz o sorgo en la alimentación de las vacas lecheras durante varios meses del año y en una proporción muy importante de la dieta es una práctica corriente en el país. Los cultivos empleados son maíz y sorgo, en este último caso híbrido de *Sorghum bicolor*, forrajero o dulces. El uso eficiente de las reservas de forraje y el logro de los objetivos de producción planificados requiere de una correcta estimación del aporte energético de este alimento.

La estimación del contenido de la energía neta obtenida a partir de la digestibilidad *in vivo* es considerada como una de las mejores estimaciones posibles con la limitante del alto costo y tiempo que conlleva realizar este tipo de mediciones (Chenost y Martin-Rosset, 1985). La medición de la digestibilidad *in vivo* en capones es más adecuada que la realizada *in vitro* porque incluye factores como el consumo voluntario, la degradabilidad del forraje en el retículo-rumen y la absorción de los nutrientes a través de todo el tracto-gastro intestinal (Miron *et al.*, 2006).

A partir de los ensayos *in vivo* se han desarrollado ecuaciones empíricas utilizando los parámetros químicos de los alimentos. En el país se utilizan ecuaciones que emplean la FDA como predictor (Mieres, 2004). Hay ecuaciones que emplean más de un componente, como la estudiada en este trabajo propuesta por Andrieu (1995).

Un avance para mejorar la estimación es el empleo de los modelos mecanicistas sumativos como el del NRC (2001), que considera el aporte de todas las fracciones del alimento que aportan energía: CNF, FDN, PC, EE y la digestibilidad de cada una de ellas.

La base de datos sobre la que se trabajó, representa una alta heterogeneidad, por provenir de especies distintas: maíz y sorgo, con distintos tipos de genotipos dentro de ellas: híbridos y una variedad en el primer caso, e híbridos forrajeros y dulces, con y sin genes *bmr*, en el segundo caso. Además, estos fueron obtenidos en diferentes ambientes, años, cosechados con diferentes porcentaje de humedad, maquinaria y confeccionados de diferentes formas. Esta alta variabilidad en las

muestras constituye una fortaleza en el trabajo, ya que los modelos son probados en un rango amplio de situaciones.

El bajo ajuste que tienen los modelos de predicción empíricos univariados estudiados (Garret y PSFTL), se debe a que la FDA explica menos del 60 % de la digestibilidad *in vitro* y menos de 40 % de la digestibilidad *in vivo* (Weiss, 1998). Además, el estimar la energía utilizando una sola fracción es insensible al cambio en concentración de las otras fracciones, ya que se asume que es la única que afecta la digestibilidad o que las demás están fuertemente correlacionados. Barrière *et al.* (2003), encontró que la concentración del almidón en ensilajes de maíz y la DFDN tienen una correlación cercana a cero (-0,01), sin embargo la suma de los dos explican el 90 % de la variación genética de la DMO. Como principales limitantes al uso de los modelos univariados, Weiss (1993), reportó que dependen de la población en donde fueron generados (empíricos), que no contemplan los cambios en el crecimiento y en el almacenamiento de los alimentos y que fueron colectados en el pasado y no representan adecuadamente los alimentos actuales.

El modelo empírico multicomponente de Andrieu que considera el contenido de FDN, FDA y PB para estimar la digestibilidad de la materia orgánica no logró una buena estimación, a pesar de que son levemente más precisos que los univariados y menos sensibles al error analítico (Weiss, 1998). El coeficiente de determinación obtenido en el trabajo fue menor al reportado por Flores (2004) para ensilajes de maíz, pero coinciden con lo reportado por (Agneessens *et al.*, 1995) en el sentido de que el modelo no logra una buena estimación. Esto puede deberse a que el contenido de FDN no es buen estimador de la DMO (Barrière *et al.*, 2003) o a que son más específicos con respecto a la población que los originó, Weiss (1998).

Los modelos NRCa y NRCb alcanzaron una mejor predicción porque consideran el contenido de todas las fracciones del alimento, así como la digestibilidad de cada una de ellas, representado más fuentes de variación que los empíricos univariados (Weiss, 1998).

Las dos fracciones que presentan mayor variación en su digestibilidad son la FDN y los CNF, en el primer caso se estima la fracción potencialmente digestible a través del contenido de lignina descontando el NIDA como compuesto indigestible (Conrad, 1984 modificado por Weiss *et al.*, 1992). Van Soest (1994) considera el contenido de lignina como el principal factor limitante de la digestibilidad de la pared celular, basándose en que la lignina impediría el acceso de los microorganismos al estar recubriendo parte de la hemicelulosa y de la celulosa.

El ajuste en los CNF considera las variaciones que ocurren en la digestibilidad del almidón durante el ciclo del cultivo. Todas las correcciones de la digestibilidad emplean el % MS al momento de la cosecha como la variable indicativa de la madurez de cultivo. La diferencia entre los modelos a y b del NRC radica en el ajuste de la digestibilidad de los CNF: el modelo NRCa utiliza un factor de ajuste discreto (FAJ) propuesto por NRC (2001) y el NRCb propuesto en este trabajo utiliza ecuaciones para maíz y sorgo. En el caso del maíz se emplea la de Schwab *et al.*, (2003) obtenida de Phileppau y Michalet-Doreaut (1998) y para sorgo la modificada de Le Gall (2003). La digestibilidad del almidón, tanto en el maíz como en el sorgo baja a medida que se acerca a la madurez. Esta disminución estaría explicada por el aumento del contenido de prolinas, siendo uno de los constituyentes de la matriz proteína-almidón. Las cuales serían las responsables de enlentecer la degradación del almidón por ser hidrofóbicas (Hoffman *et al.*, 2011). La otra fuente de pérdida de energía es el pasaje de grano entero por el tracto gastrointestinal del rumiante, particularmente importante en el caso del sorgo ya que el grano es pequeño y no es picado por la ensiladora, encontrándose hasta el 60 % del grano entero en las heces (Owen, 1967) .

El uso de una muestra del silo en comparación con la toma de muestra del material al momento de ensilar presenta algunos inconvenientes: una espera de al menos 30 días desde su confección, la técnica de muestreo es engorrosa y se realiza próximo al suministro del ensilaje. Los antecedentes que existen para ensilajes de maíz, indican que la composición química y el contenido de energía neta de lactación

del material original antes de ensilar tendrían una diferencia despreciable con la del ensilaje (Andrieu, 1995; Flores, 2004).

En este trabajo no se encontraron diferencias significativas en la composición química del material original (Mat.Or) y el ensilaje (E), lo cual coincide con los resultados de Phipps y Wilkinson (1985). La tendencia esperada es el aumento de la FDN de forma pasiva en los materiales con menos de 28 % de MS por la pérdida de materia seca no celulósica en el efluente y/o como gas en la fermentación (Michalet-Doureau y Demarquilly, 1981), citado por Flores (2004), resultado que no se fue corroborado en este trabajo. Andrieu (1995) y Flores (2004), encontraron que las diferencias entre el Mat.Or y el E son despreciables o nulas en ensilajes de maíz con más de 28 % de MS.

Cuando se analizaron todos los ensilajes (N=29), presentaron una alta variabilidad en el % de MS al momento de la cosecha del Mat.Or: entre 21,4 y 45,8 %. En tanto correlaciones encontradas entre la ENI y la estimada a partir de los modelos NRCa y NRCb fueron significativamente diferentes de cero ($\text{Prob} > |r|$) y no lo fueron el resto de los modelos. Cuando se utiliza los intervalos de confianza para testear si son diferentes entre sí, los dos modelos NRC no lo son, y no se separan significativamente con un 90 % de confianza de los demás modelos.

Cuando se ajusta el modelo para los ensilajes con más de 28 % de MS (N=19), aumenta el coeficiente de correlación de 0,54 a 0,76 a 0,59 a 0,72, para NRCa y b respectivamente. El modelo NRCa se diferenció significativamente de los modelos Garret, PSFTL y Andrieu, en tanto NRCb no se diferenció del resto. La explicación de esta diferencia estaría dado porque el contenido ideal de MS de los ensilajes de maíz según Van Soest (1994), Nussio (1999) y Brondani *et al.* (2000) citados por Rosa *et al.* (2004), estaría entre 30 y 35 % de MS, para evitar pérdidas por efluentes y gases, permitiendo una adecuada fermentación láctica y por lo tanto conservando el valor nutritivo. En el caso del sorgo, Xiccato *et al.* (1994) citado por Ribeiro (2007), indica que las pérdidas por efluentes son muy pequeñas cuando la MS del forraje es superior a 25 % y su producción virtualmente cesa con 29 % de MS.

Aunque los modelos NRCa y b, son significativos en el primer y segundo trabajo, estos explican un 38,4, 44,9 % y 57,7 y 51,8 % respectivamente, de la variabilidad, lo que trae implícito que una alta proporción de la variabilidad no esta explicada por estos modelos. Schwab *et al.* (2003) por esto propuso utilizar la digestibilidad de la FDN *in vitro* (ivDFDN) a las 48 horas, en tanto Spanghero *et al.* (2009) encontró un R^2 de 0,093 cuando realizó la regresión entre la DFDN calculada a partir de la concentración de la lignina detergente acida (LDA) y la ivDFDN en un total de 173 muestras de ensilajes de maíz.

5 CONCLUSIONES GLOBALES

Los modelos matemático empíricos univariados en base a FDA no presentaron niveles de ajuste aceptables y no deberían ser utilizados.

El modelo matemático empírico multicomponente tampoco logró un buen ajuste, presentado las mismas limitantes que los modelos empíricos univariados.

El modelo mecanicista sumativo propuesto por el NRC (2001), NRCa y su variante, NRCb, presentaron niveles moderados de ajuste.

Utilizar el Mat.Or presenta ventajas prácticas y niveles moderados de ajuste o exactitud cuando se utiliza los materiales con más de 28 % de MS.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Agneessens, R. Dardenne, P. Lecomte, P. Dujoux, P. Fourneau, T. 1995. Prévion de la digestibilité du maïs ensilage par l'étud dégradabilité enzymatique des parois cellulaires. *Annales de Zootechnie*. 44: 39.
- Andrieu, J. 1995. Prévion de la digestibilié et de la valeur énergétique du maïs fourrage à ltat frais. *INRA Prod. Anim.* 8: 273-274.
- Andrieu, J. 1984. Prévion de la digestibilié et de la valeur énergétique des ensilages de maïs à partir de la composition de la plante à la mise en silo. *Bull. Tech. INRA*. (56) 5-8.
- AOAC 1990. Association of oficial agricultural chemists. Official methods of analysis. 15th ed. Arlinton V.A. USA. Association of Oficial Agricultural Chemist. 1140p.
- Bal, M.; Shaver, R.; Jirovec, A.; Shinnors, K.; Coors, J. 2000. Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 83:1264-1273.
- Barrière, Y; Guillet, C; Goffner, D; Pichon, M. 2003. Genetic variation and breeding strategies for improved cel wall digestibility in annual forage crops. A review. *Anim. Res.* 52: 193-228.
- Berthiaume. Symposium sur les bovins laitiers (25e., 1998, Quebec). 1998. Stratégies permettant de maximiser la valeur alimentaire des fourrages. Quebec. CPAQ. 40-56p.
- Brondani, I.L.; Alves, D.C.; Bernardes, R.A.C. 2000. Silagem de alta qualidade para bovinos. In: RESTLE, J. (Ed.) Eficiência na produção de bovinos de corte. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. p.147-184.
- Campos, W.E.; Saturnino, H.M.; Sousa, B.M.; Borge, I.; Gonçalves, L.C.; Ferreira, P.M.; Carvalho, A.U. 2003. Degradabilidade in situ da silagem de quatro

- genótipos de sorgo com e sem tanino. I – Matéria seca e proteína bruta. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 55(4):450-453.
- Chenost, M. Martin-Rosset, W. 1985. Comparison entre espèces (mouton, cheval, bovin) de la digestibilité et des quantités ingérées des fourrages verts. *Annales de Zootechnie*. 34: 291-312.
- Conrad, H. R., W. P. Weiss, W. O. Odwongo, and W. L. Shockey. 1984. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. *J. Dairy Sci*. 67:427–436.
- Flores, F.C. 2004. Factores que afectan a la calidad del ensilaje de hierba y a la planta de maíz forrajero en Galicia y evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de estos forrajes ensilados. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Politecnica de Madrid. 353p.
- Gabel, M.; Pieper, B.; Friedel, K.; Radke, M.; Hagemann, A.; Voigt, J.; Kuhla, S. 2003. Influence of nutrition level on digestibility in high yielding cows and effects on energy evaluation systems. *J. Dairy Sci*. 86:3992–3998.
- Garret, W. 1980. Energy utilization of growing cattle as determined in seventytwo comparative laughter experiments. In: *Energy Metabolism*, L. E. Mount (Ed.), Eur. Assoc. Prod. Publ. London, Butterworth. 26: 3-7p.
- Hart, S.P.; Effects of altering the grain content of sorghum silage on its nutritive value. 1990. *Journal of Animal Science*. 68: 3832:3842.
- Hoffman, P.C.: Shaver, R.D. *Corn Biochemistry: Factors related to Starch digestibility in ruminants*. (en línea). University of Wisconsin. Consultado jun.2011. Disponible en <http://www.uwex.edu/ces/dairynutrition/documents/CornBiochemistryE-2.pdf>. 12 p.
- Jarrige, R. 1988. *Alimentation des Bovins, ovins et caprins*. Paris. INRA. 476p.

- Jentsch, W; Hoffmann, L; Beyer, M. 1993. Ergebnisse aus vergleichenden Untersuchungen von Parametern der Pansenfermentation und zur Verdaulichkeit von Futterrationen bei Rind und Schaf. 2. Zur Verdaulichkeit von Futterrationen. Arch. Anim. Nutr. 44:63–84.
- Johnson, L.; Harrison, J.H.; Hunt, C.; Shinnors, K.; Dogget, C.G.; Sapienza, D. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A Contemporary Review. Journal of Dairy Science. 82: 2813-2825.
- Le Gall, A. 2003. Sorgho grain ensilaje. Institut de L'Élevage. 28p.
- Medina, M; Abadie, T; Vilaró, D; Ceretta, S. 2001. Estudio metodológico de adaptación de cultivares de maíz para silo a las condiciones de Uruguay. Agrociencia. Vol. V N°1 pág. 23-31.
- Mertens, D.R; Ely, L.O. 1982. Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization – a dynamic model evaluation. J Anim Sci. 54:895-905.
- Michalet-Doreau, B. Demarquilly, C. 1981. Prédiction de la valeur énergétique des ensilages d'herbe. En: Prédiction de la valeur nutritive des aliments des Ruminants.. Ed. INRA publications, París, Francia. 105-117p.
- Mieres, J. M. 2004. Guía para la alimentación de rumiantes. Serie Técnica 142. Consultado el 8 dic. 2010. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/publicacion-ver.php?id=979>.
- Miron, J.; Zuckerman, E.; Adin, G.; Nikbachat, M.; Salomon.; Ben-Ghedalia, D. 2006. Fiel yield, ensiling properties and digestibility by shepp of silages from two forage sorghum varieties. Animal Feed Science and Technology. 136:203-215.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle, Seventh revised edition, 2001. (en línea). Washington. National Academy Press. Consultado abr.2007. Disponible en http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=9825.

- Nussio, L.G. Silagem de milho. In: Peixoto, A.M. 1999. Alimentação suplementar. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, p.27-46.
- Oliver, A.; Petersen, R.; Grant, R.; Klopfenstein, T; 2005a. Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 Genes: I. Forage sorghum yield and quality. *Crop Science*. 45:2234-2239.
- Oliver, A.; Petersen, R.; Grant, R.; Klopfenstein, T; Jose, H. 2005b. Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 Genes: II. Grain yield, stover yield, and stover quality. *Crop Science*. 45:2240-2245.
- Oliver, A.; Grant, R.; Pedersen, J.; O’Rear, J. 2004. Comparison of brown midrid 6 and 18 foraje sorghum with conventional sorgum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci*. 87:637–644.
- Owen, F.G. 1967. Factors affecting nutritive value of corn an sorghum silage. *Journal of Dairy Science*. 50: 404-416.
- Penn State Forage Testing Laboratory. 1980. Penn State Forage Testing Service Revised Regression Equations. DSE-80-56.
- Pesce, D.M.C; Gonçalves, L.C; Rodrigues, N.M; Borges, I; Rodrigues, J.A.S. 2000. Porcentagem, perda e digestibilidade in vitro da material seca das silagens de 20 genótipos de sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 52:978-987.
- Petit, H.V; Lafreniere, C; Viera, D.M. 1997. A comparison of methods to determine dry matter in silages. *Journal Dairy Science*. 80:558:562.
- Phileppeau, C.; Michalet-Doreaut, B. 1998. Influence of genotype and ensiling of corn grain on in situ degradation of starch in the rumen. *Journal Dairy Science*. 81:2178:2184.
- Phipps, R. y Wilkinson, M. 1985. Maize Silage. Chalcombe Publ., Marlow, U.K. 48p.

- Playne, M., McDonald, P. 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal Science Food Agriculture* 17:264-268.
- Ribeiro. L, Rodriguez. N, Gonçalves. L, Ananias de Assis Pires. D. 2007. Consideraciones sobre ensilajes de sorgo, Jornada sobre Producción y Utilización de Ensilajes. UNS, Bahía Blanca, Bs. As. Consultado set. 2008. Disponible en: http://www.cpsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1703.pdf
- Rooney, L.; Pflugfelder, R. 1986. Factors Affecting Starch Digestibility with Special Emphasis on Sorghum and Corn. *J Anim Sci.* 63:1607-1623.
- Rosa. J, Souza da Silva. J, Restle. J, Pascoal. L, Brondani. I, Alves. D, Kellermann de Freitas, A. 2004. Avaliação do comportamento agrônômico da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L.). *R. Bras. Zootec.*, vol.33, n.2, pp. 302-312.
- SAS, 2005. SAS Statistical Analysis Systems 2000, 9.1.3. User's Guide. SAS Institute Incorporation, Cary, NC.
- Schiemann, R; Jentsch, W; Wittenburg, H; Hoffmann, L. 1968. Ergebnisse vergleichender Untersuchungen über die Verdaulichkeit von Rationen bei Rind und Schaf unter besonderer Berücksichtigung pansenphysiologischer Parameter. In *Wiss. Zeitschr. Univ. Rostock, math.-nat. Reihe* 9/10. Pages 867–876.
- Schwab, E.C.; Shaver, R.D.; Lauer, J.G. Coors, J.G. 2003. Estimating silage energy value and milk yield to rank corn hybrids. *Animal Feed Science and Technology.* 109: 1-18.
- Spanghero, M; Zanfi, C; Rapetti, L; Colombini, S. 2009. Impact of NDF degradability of corn silage on the milk yield potential of dairy cows. *Ital.J.Anim.Sci.* 8:211-220.

- Stockdale, C.; Beavis.; 1994. Nutritional evaluation of whole plant maize ensiled at three chop lengths and fed to lactating dairy cows. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34:709:716.
- Tedeschi, L.O; Fox, D.G; Sainz, R.D; Barioni, L.G; Raposo de Medeiros, S; Boin, C. 2005. Mathematical models in ruminants nutrition. *Scientia Agricola*. 62:76:91.
- Traxler, M.; Fox, D.; Van Soest, P.; Pell, A.; Lascano, C.; Lanna, D.; Moore, J.; Lana, R.; Velez, M.; Flores, A. 1998. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. *Journal Animal Science*. 76:1469:1480.
- Van Soest, P. 1994. *Nutritional Ecology of the ruminant*. 2ed. Ithaca, New York: Cornell University, 1994. 476p.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci*. 74, 3583–3597.
- Van Soest, P. 1981. Impact of feeding behaviour and digestive capacity on nutritional response. IN. FAO and UNEP. *Animal genetic resources conservation and management*. Roma. FAO. Pg 144-165.
- Van Soest, P. J. 1973. Collaborative study of acid detergent fiber and lignin. *J. Assoc. offc . Anal*. 56:781.
- Weiss, W. 1998. Symposium: Energy Availability. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 81:830-839.
- Weiss, W. 1993. Symposium: Prevailing concepts in energy utilization by ruminants. Predicting energy values in feeds. *Journal Dairy Science*. 76:1802-1811.
- Weiss, W. P., H. R. Conrad, and N. R. St. Pierre. 1992. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Anim. Feed Sci. Technol*. 39: 95–110.

Xiccato, G.; Cinetto, M.; Carazzolo, A. 1994. The effect of silo type and dry matter content on the maize silage fermentation process and ensiling loss. *Anim. Feed. Sci. Techn.*, n.49, p311- 323.