

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

PREDICCIÓN DE LA DEGRADABILIDAD EN RUMEN DE SILAJE DE MAÍZ, MEDIANTE ECUACIONES BASADAS EN EL CONTENIDO DE FIBRA EN DETERGENTE ÁCIDO.

AUTOR: Angolani Daniel Hugo.

DIRECTOR: Stritzler, Néstor Pedro.

CO-DIRECTOR: Rabotnikof, Celia Mónica.

CARRERA: Ingeniería Agronómica.

Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa.

-2015-

Índice

Resumen	3
Introducción.....	4
Hipótesis.....	12
Objetivo	12
Materiales y Métodos	13
Resultados y Discusión	17
Conclusiones	37
Bibliografía.....	38

Resumen

Para evaluar la digestibilidad (% DMS) de los alimentos existen diferentes técnicas o procedimientos, cada una con sus ventajas e inconvenientes. La mayor parte de los laboratorios que se encargan de evaluar calidad de los alimentos no posee las instalaciones para determinar la digestibilidad *in vivo*, ni *in vitro*, por eso basan sus análisis en la estimación de digestibilidad por medio de determinaciones más simples como lo son la de fibra en detergente ácido (% FDA) mediante el uso de ecuaciones.

La finalidad del presente trabajo fue comparar la utilidad de las ecuaciones basadas en la determinación del % FDA para estimar % DMS como predictoras de la degradabilidad *in situ* a 24 y 48 horas (DIS24 y DIS48), para silaje de planta entera de maíz. Se trabajó con un conjunto de 25 muestras de silajes de maíz, provenientes de cultivos realizados en distintos sitios de la provincia de Buenos Aires, incluyendo distintos materiales genéticos. Se realizaron determinaciones de porcentaje de materia seca (% MS), fibra en detergente neutro (% FDN) y ácido (% FDA), proteína bruta (% PB) y degradabilidad *in situ* de la materia seca con 24 y 48 horas de incubación ruminal (DIS24 y 48). Con los resultados del % FDA se estimó digestibilidad mediante 3 diferentes ecuaciones, las cuales se compararon con los valores obtenidos de DIS24 y 48, arrojando un R^2 bajo en todas las relaciones, indicando que en ningún caso tienen fuerte relación con los procesos de digestión en rumen. Otras variables de uso corriente como son el % MS, PB y FDN siguieron la misma relación para predecir degradabilidad. Se concluye que la utilización de ecuaciones para predecir degradabilidad es objetable, hasta que nuevos estudios permitan implementar ecuaciones con mejores ajustes.

Palabras claves: Maíz, silaje, degradabilidad *in situ*, FDA, FDN, PB, digestibilidad.

Introducción

Grandes superficies de tierras naturales de la Argentina fueron sometidas a lo largo del siglo XX a un proceso de conversión, que provocó cambios estructurales y funcionales de los ecosistemas. El reemplazo de pastizales naturales y bosques nativos por praderas artificiales, y la posterior sustitución de estas praderas por cultivos anuales, sumado a una rápida incorporación de tecnología, permitieron elevar la productividad biológica y económica de esas tierras. A la vez, este salto de productividad significó un cambio en los flujos de energía, los ciclos minerales, el proceso hidrológico, la estabilidad y fertilidad de los suelos, el hábitat y la biodiversidad de las regiones intervenidas. (Carreño y Viglizzo, 2007).

Muchas de las regiones que hoy son casi exclusivamente productoras de grano, hace unos pocos años eran identificadas como mixtas, pues coexistían en ellas la producción de granos y la ganadería, o incluso eran netamente ganaderas. En los últimos 20 años esas tierras experimentaron enormes transformaciones, que se hicieron extensivas a la agricultura. Este proceso extendió la superficie agrícola y relegó la actividad ganadera, tanto en términos de uso del suelo como de participación en el resultado de muchas empresas. El cambio de actividad no fue parejo para todos los cultivos, sino que se concentró en la soja, que se convirtió en el cultivo dominante en amplias zonas. Desde 1996, la superficie sembrada con maíz, girasol y trigo se mantuvo estable o cayó, mientras que la destinada a soja aumentó a más del doble. La mayor parte de este crecimiento productivo se concentró en la región pampeana, pero la transformación alcanzó en mayor o menor medida a todas las regiones argentinas con aptitud para esos cultivos (Satorre, 2005).

La intensificación agrícola estuvo acompañada por una notoria intensificación de los planteos ganaderos. Este nuevo escenario impone, en superficies reducidas, una alta densidad de animales, sometidos a un engorde intensivo a corral con granos y forrajes procesados. La agricultura aporta la mayor parte de los insumos que requiere la ganadería, y ambas actividades (agricultura y ganadería) que antes se articulaban en esquemas extensivos de rotación de cultivos, ahora aparecen desacopladas y altamente especializadas. Tal cambio introduce una modificación adicional en la funcionalidad de estos ecosistemas, que, para sostener una mayor productividad, reciben más insumos y generan más residuos y desechos que afectan al ambiente. (Carreño y Viglizzo, 2007).

La producción de carne bovina es una actividad importante para la economía argentina, representando del 35 al 40 % del Producto Bruto Agropecuario Nacional. El ganado vacuno se encuentra distribuido en todo el país, pero existen zonas agroecológicas claramente diferenciadas que permiten dividir al país en 5 grandes regiones ganaderas: Región Pampeana, Región del Noreste (NEA), Región del Noroeste (NOA), Región Semiárida y Región Patagónica. La Región Pampeana es el área ganadera por excelencia, conteniendo el 57 % de la población vacuna nacional, y donde se produce el 80 % de la carne del país (Rearte, 2007a).

La superficie destinada a cultivos de cosecha creció de 5,8 millones de hectáreas (campana 1993/94) a 18 millones de hectáreas (campana 2008/09), lo cual significó que la ganadería cediera más de 12 millones de hectáreas a la agricultura (Rearte, 2011). El mantenimiento del stock bovino ante la reducción de la superficie ganadera ha sido acompañado de un reordenamiento territorial de la ganadería. En los últimos 14 años hubo un claro crecimiento ganadero en las regiones extrapampeanas acompañado de una inicial disminución y luego estabilización del stock en la Región Pampeana. (Rearte, 2007b).

El stock ganadero se ha estabilizado en alrededor de 51.430.000 cabezas, luego del crecimiento registrado desde el 2011. (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2015).

Los cambios territoriales sufridos en la distribución de la hacienda vacuna, significaron, además de la reorganización del ganado, ajustes en los sistemas de producción. La hacienda fue trasladada hacia las regiones denominadas extrapampeanas (NOA, NEA, Semiárida, Patagonia) donde se presentan limitaciones climáticas y de suelos. Frente a esta realidad se valoriza la idea de contar con reservas forrajeras de calidad, para garantizar la estabilidad productiva y financiera del sistema, y como seguro, ya que esto permite producir, aún en las condiciones climáticas adversas.

Las transformaciones experimentadas por los sistemas agrícolas en las dos últimas décadas han sido vertiginosas. En el proceso, el maíz pasó a ocupar un lugar central en el mantenimiento de la capacidad productiva por su aporte de materia orgánica, por la generación de cobertura, por ofrecer una mayor diversidad de estrategias de control de malezas y por la interrupción del ciclo de enfermedades, entre otras ventajas. También fue crucial la contribución realizada a la intensificación ganadera de nuevas alternativas de negocios para la empresa agropecuaria. (Satorre, 2008). En la campaña 2013/14 se vio claramente la importancia del cultivo del maíz, ya que siguió con la tendencia de aumentar la superficie sembrada, llegando a 6.098.885 hectáreas, con un rendimiento promedio de 6841 Kg ha². (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2015).

La superficie sembrada con maíz para silaje aumentó de manera significativa desde mediados de la década del 90, acompañando a la creciente intensificación de los sistemas ganaderos, como consecuencia de sus múltiples ventajas tanto agronómicas como nutricionales. En los últimos años, la superficie destinada a forrajes para ensilaje de planta entera ha mostrado

un gran incremento, desde 620.000 hectáreas en la campaña 2006/07 a más de 1,6 millones en la del 2011/12. Se estima que un 58 % de los ensilajes son destinados a producción de carne y el 42 % restante a leche. De los ensilajes confeccionados, casi las dos terceras partes son de maíz y en lo que respecta a producción lechera, un 85 % de los tambos incluye ensilaje de maíz en sus dietas. (Genero y Cangiano, 2013).

Según Cattani *et al.* (2008), la alimentación del rodeo con forrajes frescos o conservados de máxima calidad permite aumentar la respuesta animal, reducir los costos de alimentación e incrementar el ahorro de tiempo y dinero que se invierten en la producción de forraje.

El silaje es una técnica de conservación de forraje por vía húmeda, mediante el picado, acumulación y compactación para la expulsión del aire, con el fin de producir una fermentación láctica y lograr así la conservación del material ensilado (Peñagaricano, 1988). Esta fermentación provoca la rápida reducción del pH permitiendo retener las cualidades del material ensilado. Debe resaltarse que el proceso de ensilaje no agrega valor nutricional al conjunto, sino, parte se pierde, pero es una buena alternativa para tener reservas forrajeras.

Para un correcto ensilaje y una adecuada conservación del material, hay ciertos factores a tener en cuenta: contenido de carbohidratos fermentables; proteína; madurez; contenido de humedad del forraje; tamaño de picado; llenado, compactado y sellado (Romero, 2012a).

Entre las plantas forrajeras, las gramíneas son las que más se prestan para la confección de ensilajes, debido a su alto contenido de carbohidratos fácilmente fermentables y a su baja capacidad tampón, comparada con las leguminosas que son bajas en azúcares y de alta capacidad tampón. Una baja cantidad de carbohidratos solubles en la planta asociada a un bajo contenido de materia seca (material muy húmedo), crean condiciones extremadamente propensas para el desarrollo de fermentaciones secundarias. (Romero, 2004).

En los sistemas de producción, el silaje de maíz es uno de los forrajes conservados más importantes, ya que presenta ciertas características y ventajas como son: altos rendimientos de materia seca por hectárea de un alimento con alto valor energético; alta palatabilidad; no requiere preoreo, debido a que posee buenas características para ser ensilado a través del corte directo; rápida cosecha; bajos costos de almacenamiento; mínimo porcentaje de pérdidas, cuando se trabaja en forma correcta y altos contenidos de carbohidratos solubles; teniendo como desventaja el bajo porcentaje de proteína bruta y minerales especialmente de calcio (Romero, 2012b).

Tradicionalmente se utilizaron híbridos de maíz para grano, ya que se partía del concepto, hoy abandonado, de que las dos situaciones, grano y silo, tenían las mismas exigencias. Hoy se acepta que se requieren híbridos con características diferenciales, dado que:

(a) no necesariamente un alto rendimiento en grano está asociado a una alta producción de forraje por unidad de superficie,

(b) el grano representa sólo del 28 al 46 % de la materia seca cosechada,

(c) el contenido de grano no alcanza a explicar satisfactoriamente la digestibilidad observada en la planta entera, de modo que a una misma digestibilidad el silo puede presentar distinto nivel de grano, y

(d) existe una relación inversa entre digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica y contenido de fibra indigestible, entendiéndose como tal a la fibra que pasa por el tracto gastrointestinal de los rumiantes sin ser digerida (Carrete, 1999).

La calidad del forraje que puede ofrecer un maíz para silaje, varía en función del híbrido, del estado de madurez a la cosecha, del año y sitio de siembra (Carrete, 1999).

Es conveniente que el silaje contenga del 30 % al 50 % de granos sobre base de materia seca, debido a lo cual se lo considera una mezcla de forraje - grano, siendo utilizado como suplemento de la dieta (Ramírez et al., 1999).

La principal característica de los silajes de maíz que favorece su utilización en la producción ganadera, es su alto potencial de producción de forraje de buena calidad. Este aspecto es de fundamental importancia para la intensificación de los sistemas de producción, ya que uno de los objetivos es el incremento de la carga animal, sin disminución en las respuestas individuales, lo que permite además un mayor grado de utilización de las pasturas durante su ciclo de crecimiento con efectos directos sobre la productividad total del sistema (De León, 2006).

Desde el punto de vista de las distintas estrategias de utilización de los silajes de maíz, se presentan una serie de alternativas; desde su uso como suplemento o como único alimento, tanto en las épocas de restricción de oferta forrajera (déficit invernal de forraje) hasta en producciones a corral. Cuando se utilizan como principal fuente de alimentación, los silajes de maíz permiten la conformación de dietas totalmente balanceadas y acordes a distintos requerimientos animales y sistemas de producción, mediante la adición de los nutrientes complementarios.

La calidad de los forrajes es entendida como sinónimo del valor nutritivo o como fuente de nutrientes para los animales. La calidad de los alimentos representa, en su sentido más profundo, la respuesta animal a la ingestión de los mismos. En el contexto de la nutrición animal, dicha respuesta debería entenderse como sostenimiento de estados fisiológicos, tales como mantenimiento, reproducción y producción animal, incluyendo trabajo físico (Stritzler *et al.*, 2011).

Para la formulación de dietas es necesario conocer el valor nutritivo del silaje disponible; esto se hace mediante el análisis de las principales variables que lo definen: fibra en detergente neutro (% FDN); fibra en detergente ácido (% FDA); digestibilidad de la materia seca (% DMS) y proteína bruta (% PB).

De todas las variables mencionadas la digestibilidad y la concentración de proteína bruta son las más importantes a la hora de formular o balancear una dieta (Monforte Castañeira, 2014).

La mayoría de los laboratorios que brindan servicios de determinación de valor nutritivo estiman digestibilidad a partir de determinaciones simples, como son la de fibra en detergente ácido (% FDA) mediante el uso de ecuaciones, ya que consideran que son relativamente precisas y utilizan recursos simples, en el cual el forraje es el único componente. Han optado por esta forma de estimación ya que no cuentan con las instalaciones necesarias para la determinación de digestibilidad *in vitro*, ni *in vivo* al encontrarse en centros urbanos donde es imposible tener animales.

El silaje de maíz es un alimento complejo, que incluye una mezcla de grano y forraje finamente picado, siendo ambos componentes de valor nutritivo muy diferente, ya que los granos son rápidamente digeridos (Andrae *et al.*, 2001), mientras que el material verde es de limitada digestión ruminal (Stritzler *et al.*, 2011). Diferentes estudios han demostrado un amplio rango en el contenido de fibra de los silajes de maíz, esto está en función del contenido de grano y de la concentración de la fracción fibrosa. Las diferencias de contenido de fibra afectan directamente a la digestibilidad; a mayor contenido de fibra menor será la digestibilidad (Ramírez *et al.*, 1999).

El análisis del valor nutritivo de materiales heterogéneos, como los silajes, es dificultoso sobre todo si el método no considera la dinámica ruminal. En estos alimentos, en los que se producen intensas interacciones entre nutrientes, la utilización de métodos indirectos para

determinar el valor nutritivo está seriamente cuestionada. Di Marco *et al.* (2005) encontraron, trabajando con silaje de maíz, que la degradabilidad obtenida por incubación en el rumen durante 24 horas es un buen estimador de la digestibilidad *in vivo*. Sin embargo Vago *et al.* (2010) no obtuvieron buenas correlaciones entre los valores de degradabilidad *in situ* a las 24 horas y % DMS.

Hipótesis

Los métodos de laboratorio disponibles para estimar la digestibilidad de la materia seca, son, adicionalmente, buenos estimadores de la degradabilidad *in situ*.

Objetivo

Comparar la utilidad del uso de ecuaciones basadas en la determinación del contenido de fibra en detergente ácido (% FDA) para estimar digestibilidad de la materia seca (% DMS) como predictoras de la degradabilidad *in situ* a 24 y 48 horas para muestras de silajes de planta entera de maíz.

Materiales y Métodos

Se trabajó con un conjunto de 25 muestras de silajes de maíz provistas por la Ing. Agr. María Elena Vago, Facultad de Ciencias Agrarias, Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA). Los silajes provinieron de cultivos realizados en distintos sitios de la provincia de Buenos Aires, y por lo tanto, incluyeron distintos materiales genéticos, bajo muy diferentes condiciones de clima, suelo y manejo.

Las muestras fueron recibidas y acondicionadas en el Laboratorio de Nutrición Animal y Forrajes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UCA. Fueron secadas y luego molidas a un tamaño de partículas de 1 milímetro, con un molino de cuchillas tipo Wiley. Sobre este material se realizaron las determinaciones de fibra en detergente ácido (% FDA) (Robertson y Van Soest, 1981) utilizando el equipo Ankom Fiber Analyzer y proteína bruta (% PB) utilizando la técnica Kjeldahl ($N \times 6,25$), con un equipo Tecator.

Las muestras acondicionadas y con los resultados de % FDA y % PB se recibieron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, donde se procedió a realizar la determinación de degradabilidad *in situ*. Para esto se trabajó con 3 novillos Hereford (repeticiones) (Foto N° 1) provistos de cánula ruminal permanente, los cuales fueron alimentados *ad libitum* durante la semana previa a la incubación, con heno de alfalfa de buena calidad para estandarizar las condiciones del ambiente ruminal. En cada uno de ellos se colocaron las 25 muestras de silajes de maíz, en bolsitas de nylon (Foto N° 2), con un tamaño de poro de 50 micrones y una cantidad de muestra tal que respetara la relación de 12,5 miligramos de muestra seca por centímetro cuadrado de bolsita.



Foto N° 1: Animales experimentales.



Foto N° 2: Bolsitas de nylon conteniendo muestra de silaje de maíz.

Para cada muestra se utilizaron dos tiempos de incubación ruminal (24 y 48 horas). Las muestras fueron introducidas en el rumen de los tres animales en orden inverso (Foto N° 3 y 4), y retiradas todas juntas, de modo que las primeras muestras colocadas permanecieron 48 horas en el rumen y las últimas 24 horas. Una vez cumplido el tiempo de incubación se retiraron las muestras simultáneamente, y se les realizó un primer lavado para quitarles el material grueso proveniente de la digesta ruminal. Luego se colocaron las bolsitas en lavarropas con flujo continuo de agua durante una hora. Transcurrido este tiempo el material fue llevado a estufa a 65°C hasta peso constante y se determinó la degradabilidad ruminal a 24 horas (DIS24) y 48 horas (DIS48) a cada muestra por medio de la siguiente fórmula:

DIS24 y DIS48= $[1 - (\text{g MS residuo} / \text{g MS incubada})] * 100$



Foto N° 4: Animal con las muestras introducidas.



Simultáneamente se utilizaron tres ecuaciones de predicción de % DMS, todas a partir del contenido de FDA (Rohweder et al., 1978; Abrams, 1988; Menke y Steingass, 1988). Las mismas pueden verse en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ecuaciones de estimación de Digestibilidad de la materia seca (% DMS), a partir de determinaciones de Fibra en Detergente Ácido (% FDA) para las muestras de silajes de maíz utilizadas en el estudio.

Número de ecuación	Variable estimada	Ecuación
1	DMS	$88,9 - 0,779 * FDA$
2	DMS	$96,2 - 0,940 * FDA$
3	DMS	$87,3 - 0,776 * FDA$

Los valores de % DMS obtenidos por medio de las ecuaciones fueron comparados con los valores de % DIS24 y % DIS48 obtenidos experimentalmente, mediante una prueba t para muestras apareadas. Se obtuvo la asociación entre las variables por estimación de regresión y coeficiente de regresión lineal.

Resultados y Discusión

Las variables estudiadas de silaje de maíz se presentan ordenadas y con sus valores correspondientes en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Valores medios, desvíos, máximos y mínimos de variables medidas (M) y estimadas (E) de muestras de silajes de maíz utilizadas en el estudio. Todos los valores están calculados sobre base seca.

Variables	Promedio	Desvío estándar	Máximo	Mínimo
% DIS 24 hs. (M)	72,12	3,19	79,80	66,45
% DIS 48 hs. (M)	80,32	2,59	85,57	75,39
% FDA (M)	27,79	3,18	35,28	23,02
% FDN (M)	46,02	3,86	51,45	39,38
% MS (M)	35,10	7,45	54,81	24,42
% PB (M)	7,22	1,56	10,79	4,21
DMS Ecuación 1 (E)	67,25	2,48	70,97	61,42
DMS Ecuación 2 (E)	70,08	2,99	74,56	63,04
DMS Ecuación 3 (E)	65,74	2,47	69,44	59,92

La degradabilidad *in situ* de la materia seca a las 24 y 48 horas de incubación ruminal (% DIS24 y % DIS48) varió desde 66 % hasta casi el 80 % para la primera incubación y de 75 % hasta 85 % para la segunda; el porcentaje de FDA varió desde 23 % a 35 %; y el % FDN de 39 % a 51 % (Cuadro 2).

El contenido de humedad del material ensilado es frecuentemente la principal limitante de la preservación satisfactoria del forraje. Niveles muy bajos dificultan la rápida compactación de la masa ensilada, mientras que excesos de agua son un obstáculo para los procesos de fermentación y acidificación del material, favoreciendo la intervención de microorganismos poco deseables en la fermentación. Es esencial mantener una adecuada humedad para lograr una óptima fermentación bacteriana y una rápida expulsión del oxígeno (Romero, 2004). El promedio del contenido de materia seca (% MS) de las muestras en estudio fue de 35,10 %, que es un valor normal y recomendable para el ensilaje de maíz. Debe destacarse el amplio rango de materia seca, ya que hay valores que van desde los 24,42 % hasta 54,81 % (Cuadro 2), lo que indica que algunos silajes no se realizaron con el porcentaje de materia seca adecuado, repercutiendo sobre las condiciones de ensilado y preservación del material.

El porcentaje de proteína bruta (% PB) presentó la variación más notable, ya que el valor máximo es más del doble que el mínimo (Cuadro 2). El consumo voluntario de algunos de los silajes evaluados puede estar limitado, dado que su contenido en PB está por debajo del valor mínimo necesario para cubrir los requerimientos de los microorganismos ruminales (Loughlin, 2010). En estos casos, es necesario suplementar con una fuente nitrogenada.

Los Gráficos 1 a 6 muestran la relación entre las ecuaciones de estimación de digestibilidad (% DMS) y la degradabilidad *in situ* a las 24 y 48 horas de incubación ruminal del material. Como se desprende del análisis de los gráficos, el R^2 fue bajo en todos ellos, indicando

que en ningún caso tienen fuerte relación con los procesos de digestión en rumen, a pesar de que los valores mejoraron con la incubación de 48 horas.

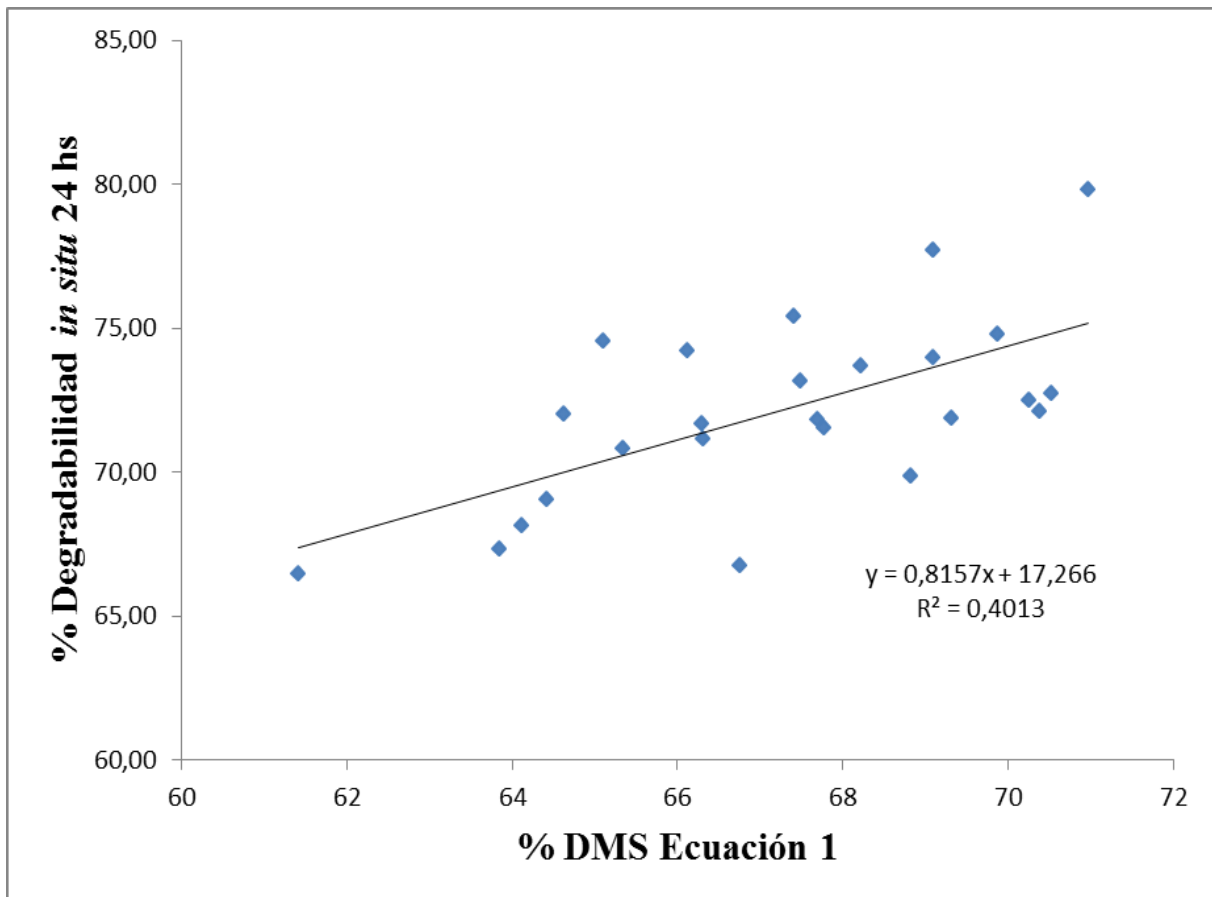


Gráfico 1: Relación entre Digestibilidad estimada por Ecuación 1 (% DMS Ecuación 1) y Degradabilidad en rumen a 24 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 24 hs.) para las muestras de silajes de maíz estudiadas, se incluye ecuación de regresión lineal.

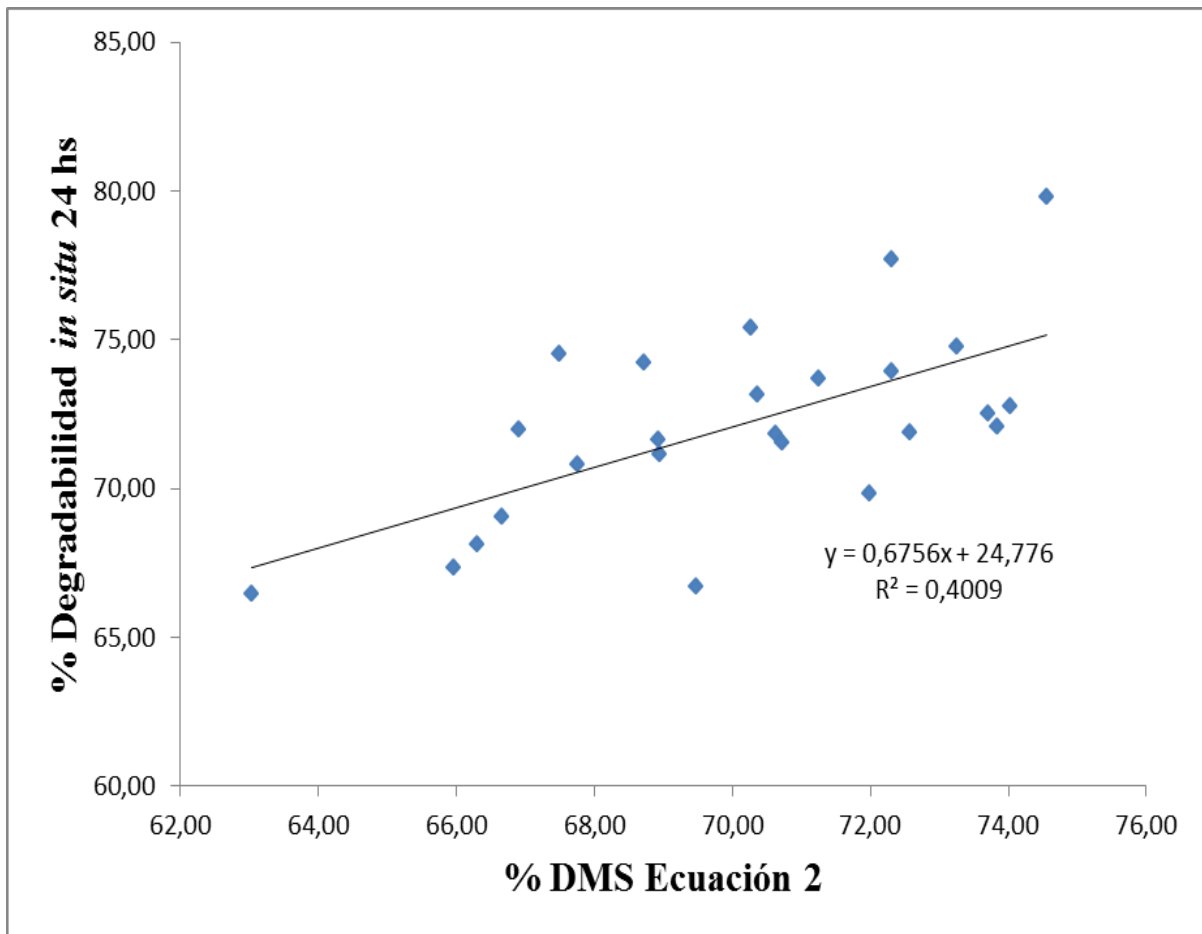


Gráfico 2: Relación entre Digestibilidad estimada por Ecuación 2 (% DMS Ecuación 2) y Degradabilidad en rumen a 24 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 24 hs.) para las muestras de silajes de maíz estudiadas, se incluye ecuación de regresión lineal.

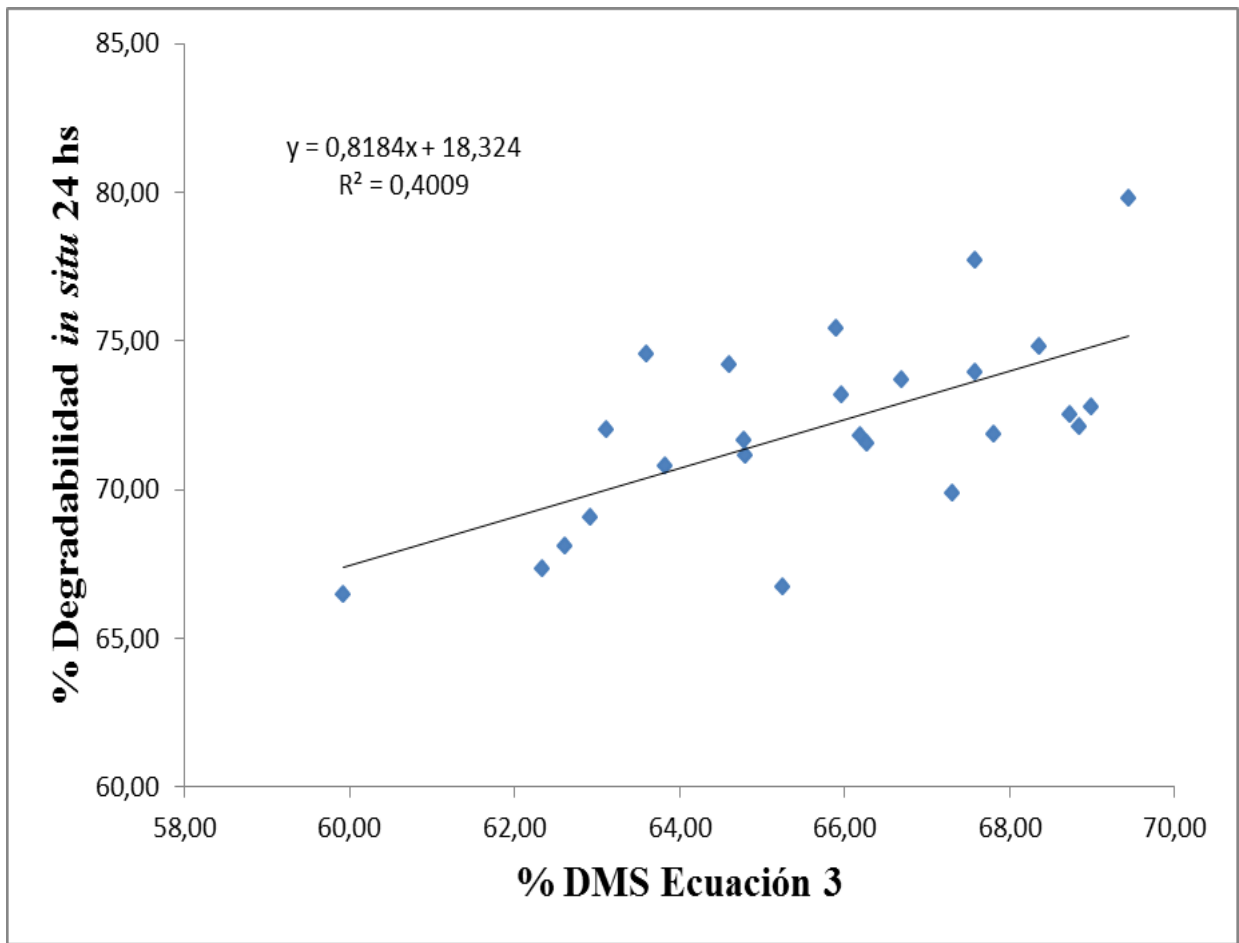


Gráfico 3: Relación entre Digestibilidad estimada por Ecuación 3 (% DMS Ecuación 3) y Degradabilidad en rumen a 24 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 24 hs.) para las muestras de silajes de maíz estudiadas, se incluye ecuación de regresión lineal.

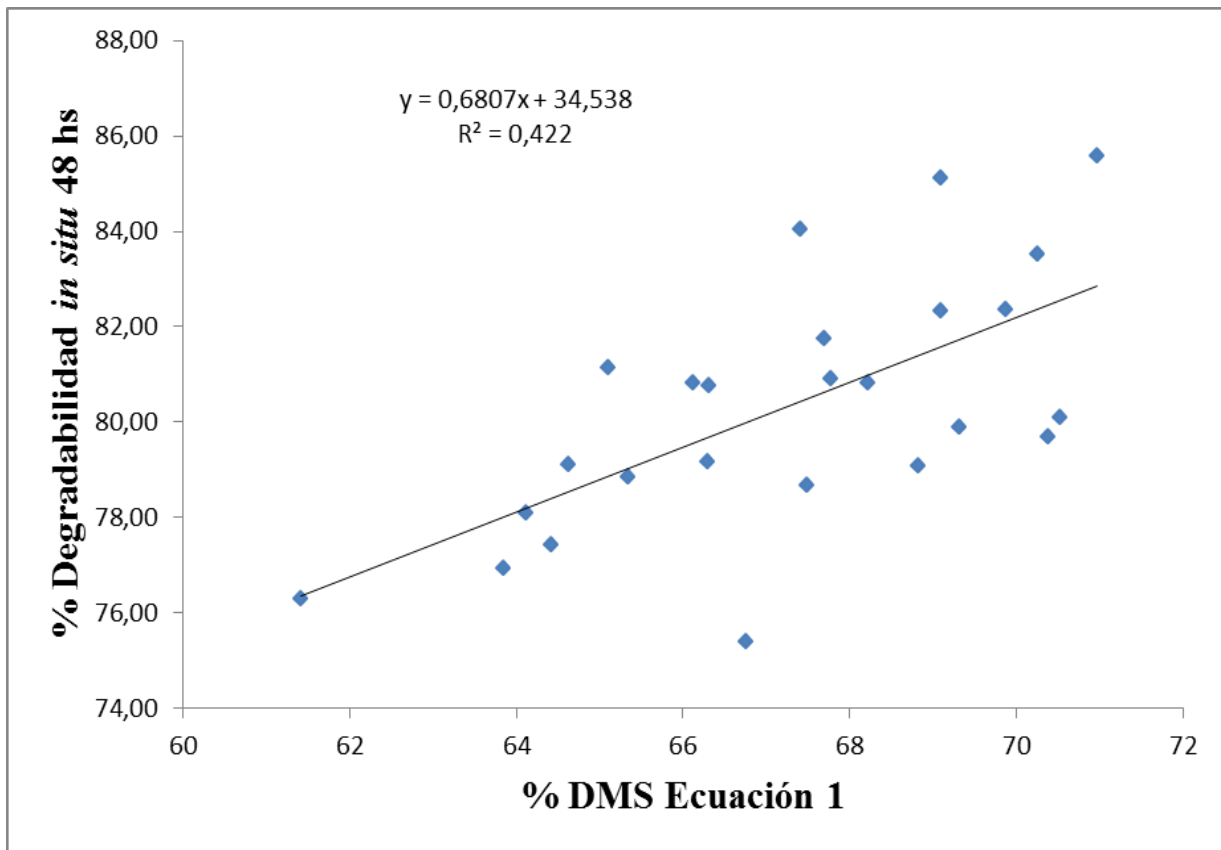


Gráfico 4: Relación entre Digestibilidad estimada por Ecuación 1 (% DMS Ecuación 1) y Degradabilidad en rumen a 48 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 48 hs.) para las muestras de silajes de maíz estudiadas, se incluye ecuación de regresión lineal.

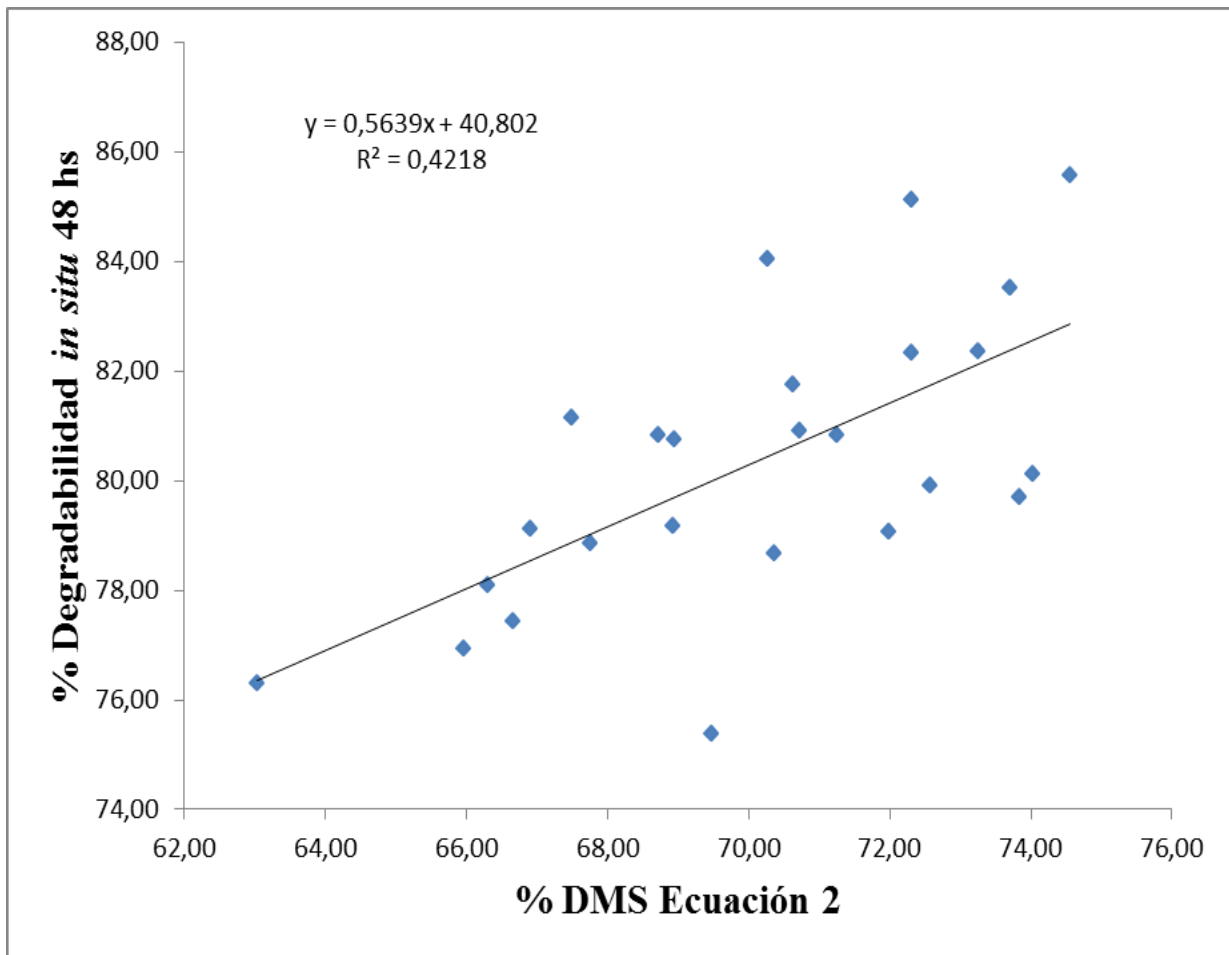


Gráfico 5: Relación entre Digestibilidad estimada por Ecuación 2 (% DMS Ecuación 2) y Degradabilidad en rumen a 48 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 48 hs.) para las muestras de silajes de maíz estudiadas, se incluye ecuación de regresión lineal.

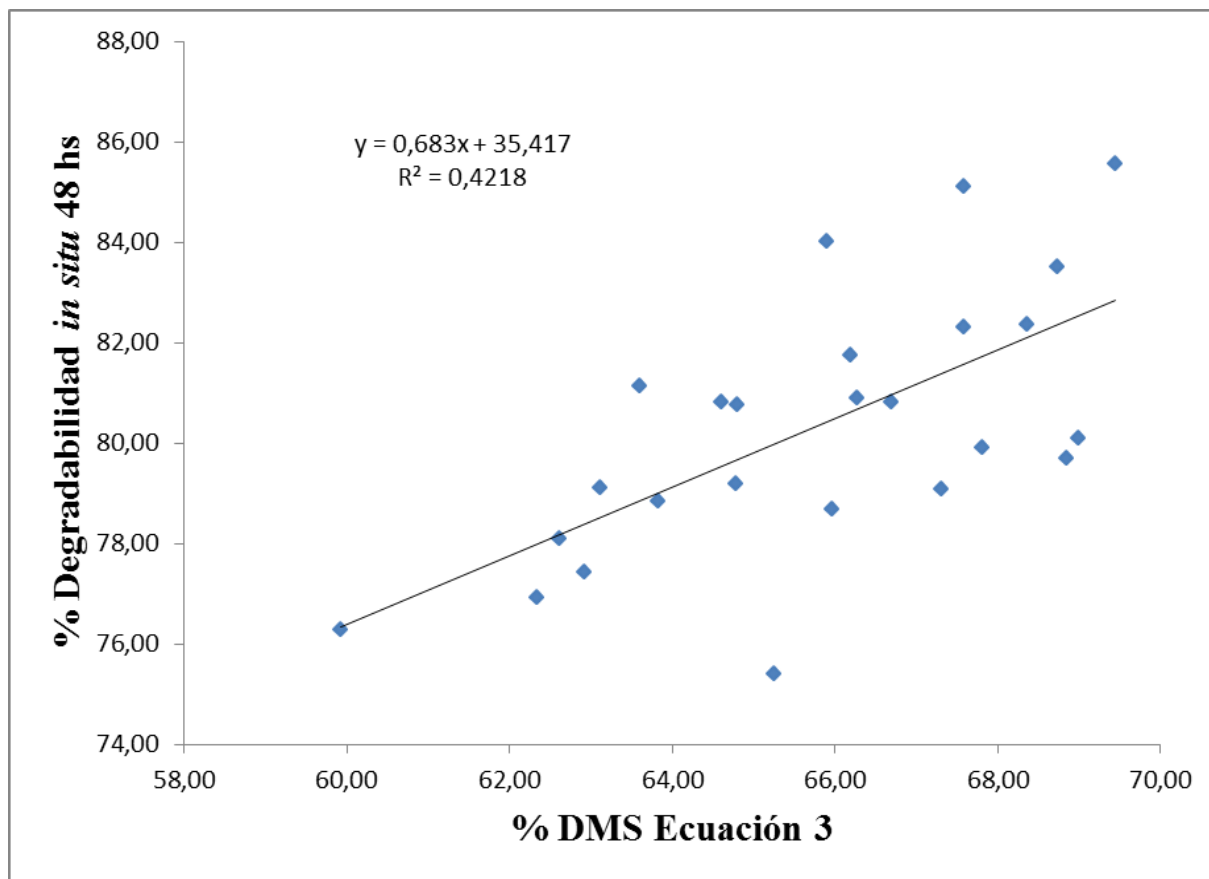


Gráfico 6: Relación entre Digestibilidad estimada por Ecuación 3 (% DMS Ecuación 3) y Degradabilidad en rumen a 48 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 48 hs.) para las muestras de silajes de maíz estudiadas, se incluye ecuación de regresión lineal.

Los Gráficos 7 y 8 muestran la relación existente entre el % de fibra en detergente ácido (% FDA) y la degradabilidad *in situ* a las 24 y 48 horas de incubación respectivamente, observándose que la asociación entre las variables es muy débil, esto se demuestra por los bajos valores de los R^2 .

Todas las ecuaciones utilizadas para determinar digestibilidad utilizan el contenido de fibra en detergente ácido (% FDA) como única variable. Como consecuencia, el ajuste de cada una con la degradabilidad a 24 y a 48 horas de incubación en rumen es el mismo que el logrado con el valor original de % FDA. Por supuesto, sí son distintas las pendientes y las ordenadas al

origen generadas por cada relación, incluyendo pendientes positivas para todas las vinculaciones entre digestibilidad y degradabilidad y negativas en la asociación entre % FDA y degradabilidad, para ambos tiempos de incubación

Van Soest (1994), sostiene que la concentración de fibra en detergente ácido (% FDA) está vinculada más fuertemente al consumo voluntario y la concentración de fibra en detergente neutro (% FDN) a la digestibilidad del material, entonces sería esperable una asociación ajustada entre el porcentaje de fibra en detergente neutro y la degradabilidad *in situ*, ya que, en los rumiantes la relación entre la digestibilidad y la degradabilidad en rumen de la materia seca es muy estrecha (Ferri *et al.*, 1998).

Sin embargo como puede observarse en los Gráficos 9 y 10 esto no ocurrió, al contrario, la relación fue más baja que la encontrada para el porcentaje de fibra en detergente ácido.

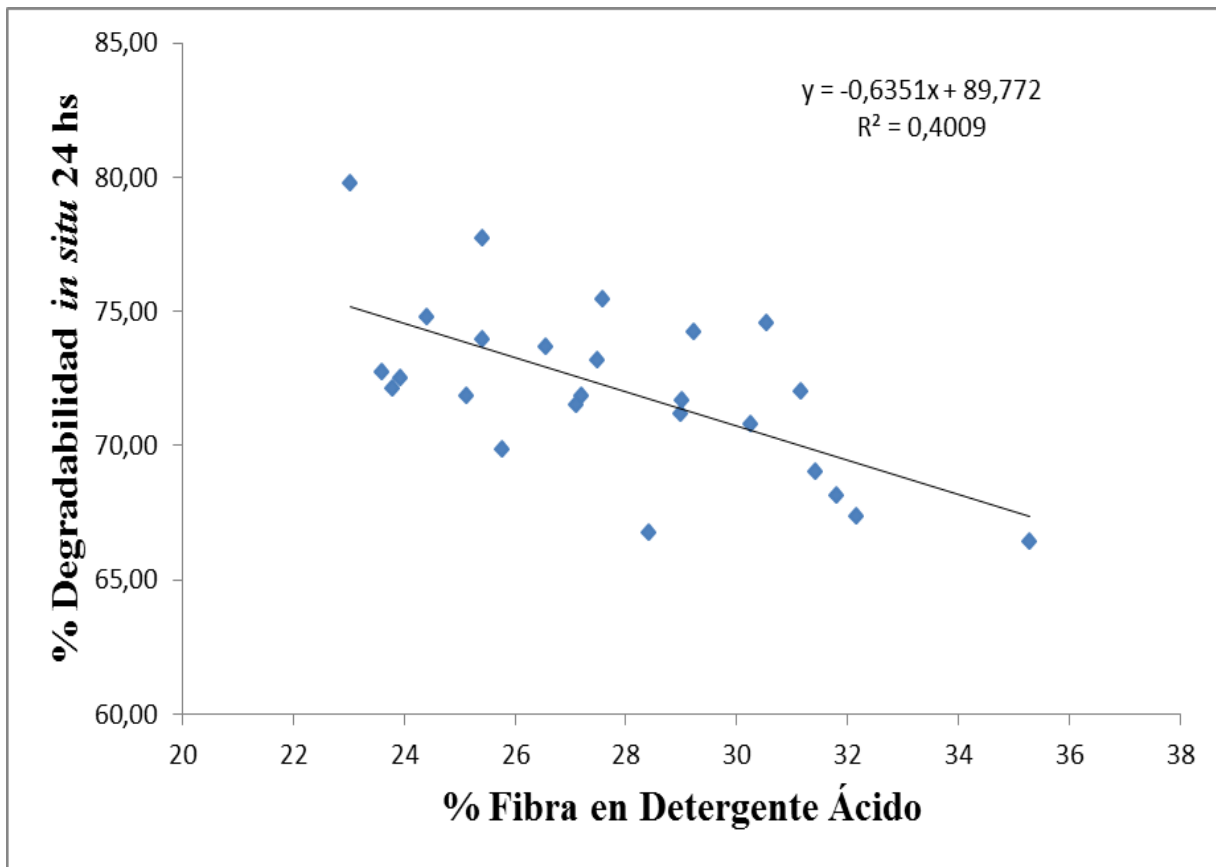


Gráfico 7: Relación entre el contenido de Fibra en Detergente Ácido (% Fibra en Detergente Ácido) y Degradabilidad en rumen a 24 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 24 hs.) para las muestras de silaje de maíz en estudio, se incluye ecuación de regresión lineal.

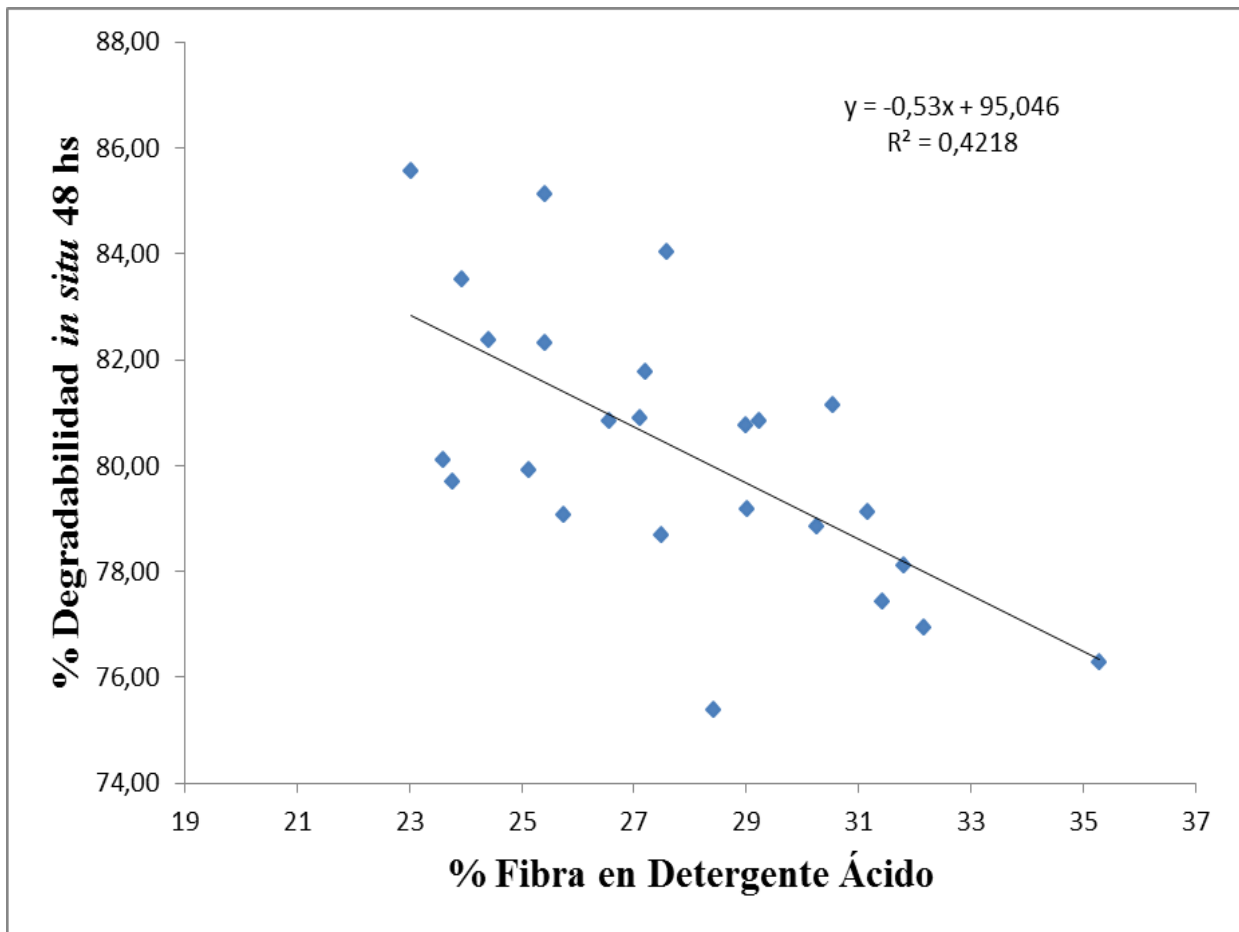


Gráfico 8: Relación entre el contenido de Fibra en Detergente Ácido (% Fibra en Detergente Ácido) y Degradabilidad en rumen a 48 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 48 hs.) para las muestras de silaje de maíz en estudio, se incluye ecuación de regresión lineal.

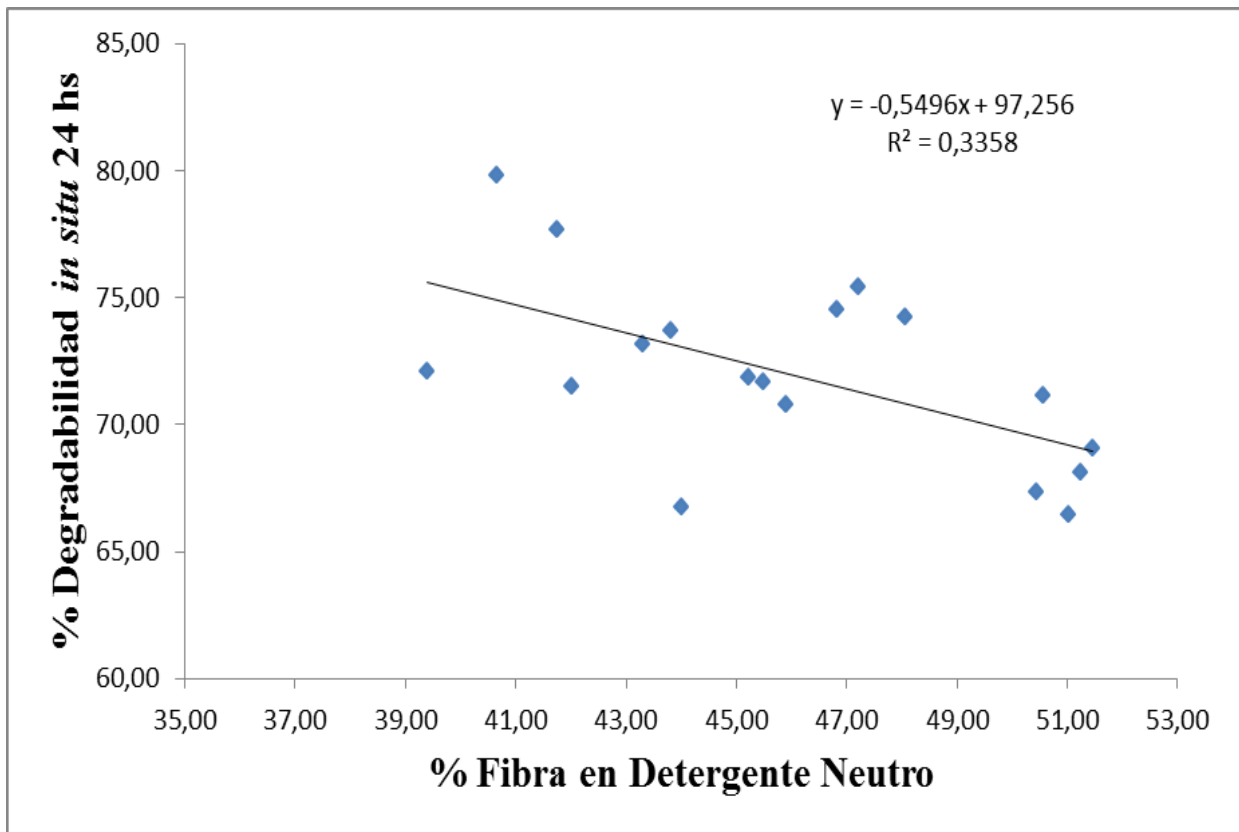


Gráfico 9: Relación entre el contenido de Fibra en Detergente Neutro (% Fibra en Detergente Neutro) y Degradabilidad en rumen a 24 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 24 hs.) para las muestras de silaje de maíz en estudio, se incluye ecuación de regresión lineal.

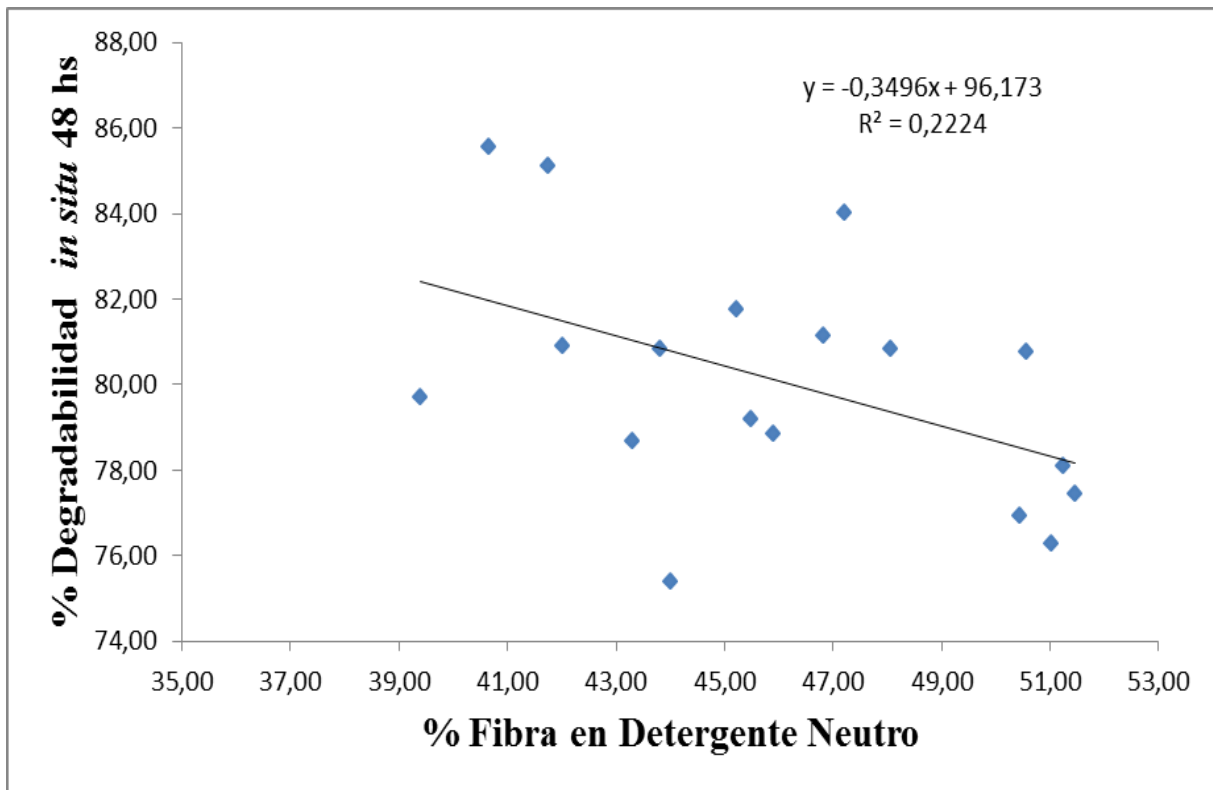


Gráfico 10: Relación entre el contenido de Fibra en Detergente Neutro (% Fibra en Detergente Neutro) y Degradabilidad en rumen a 48 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 48 hs.) para las muestras de silaje de maíz en estudio, se incluye ecuación de regresión lineal.

Los porcentajes de materia seca de los silajes son tomados generalmente como una variable relacionada con la calidad nutritiva, específicamente con la degradabilidad ruminal. Sin embargo al analizar las relaciones en los Gráficos 11 y 12 el porcentaje de materia seca no tiene casi ninguna relación con la degradabilidad ruminal, esto se demuestra por medio de la regresión lineal, cuyo R^2 es menor a 0,009, determinando que esta variable no estima adecuadamente la degradabilidad *in situ* del silaje de maíz.

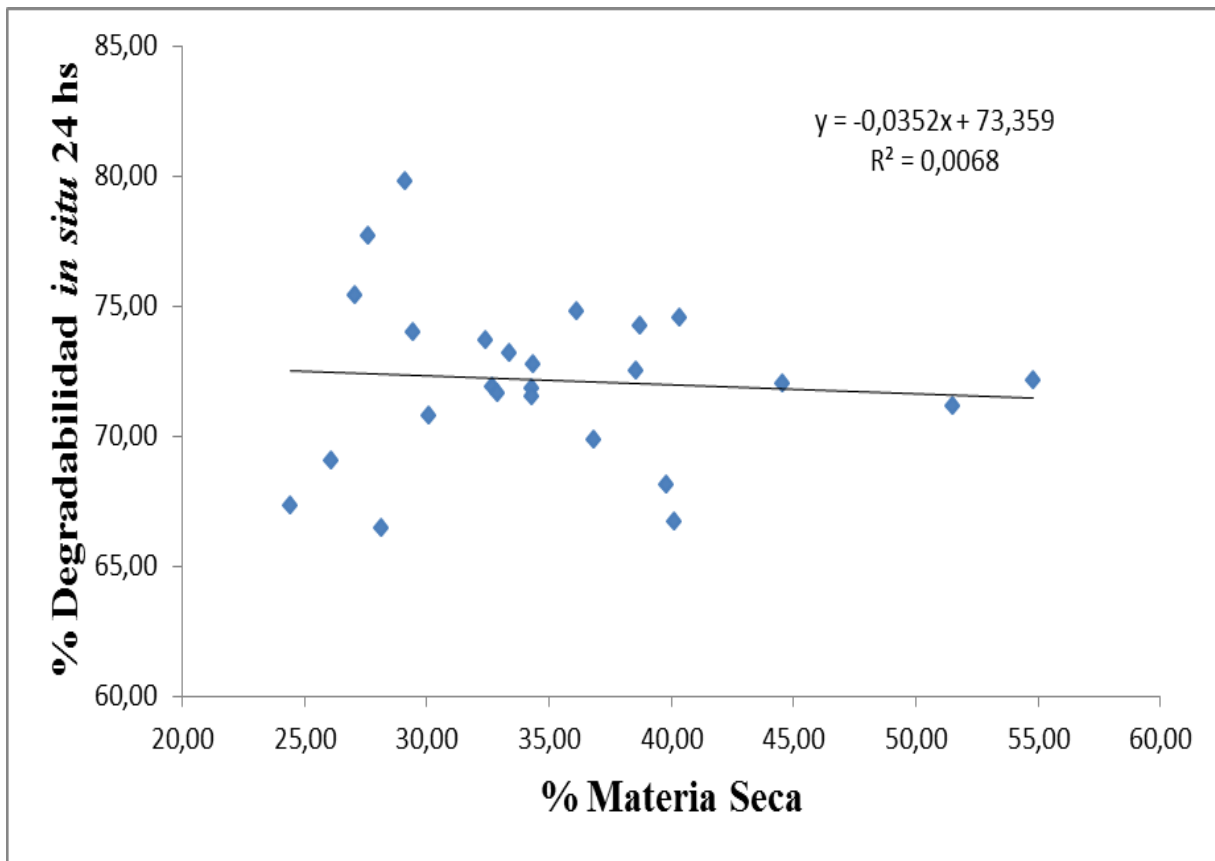


Gráfico 11: Relación entre el contenido de Materia Seca (% Materia Seca) y Degradabilidad en rumen a 24 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 24 hs.) para las muestras de silaje de maíz en estudio, se incluye ecuación de regresión lineal.

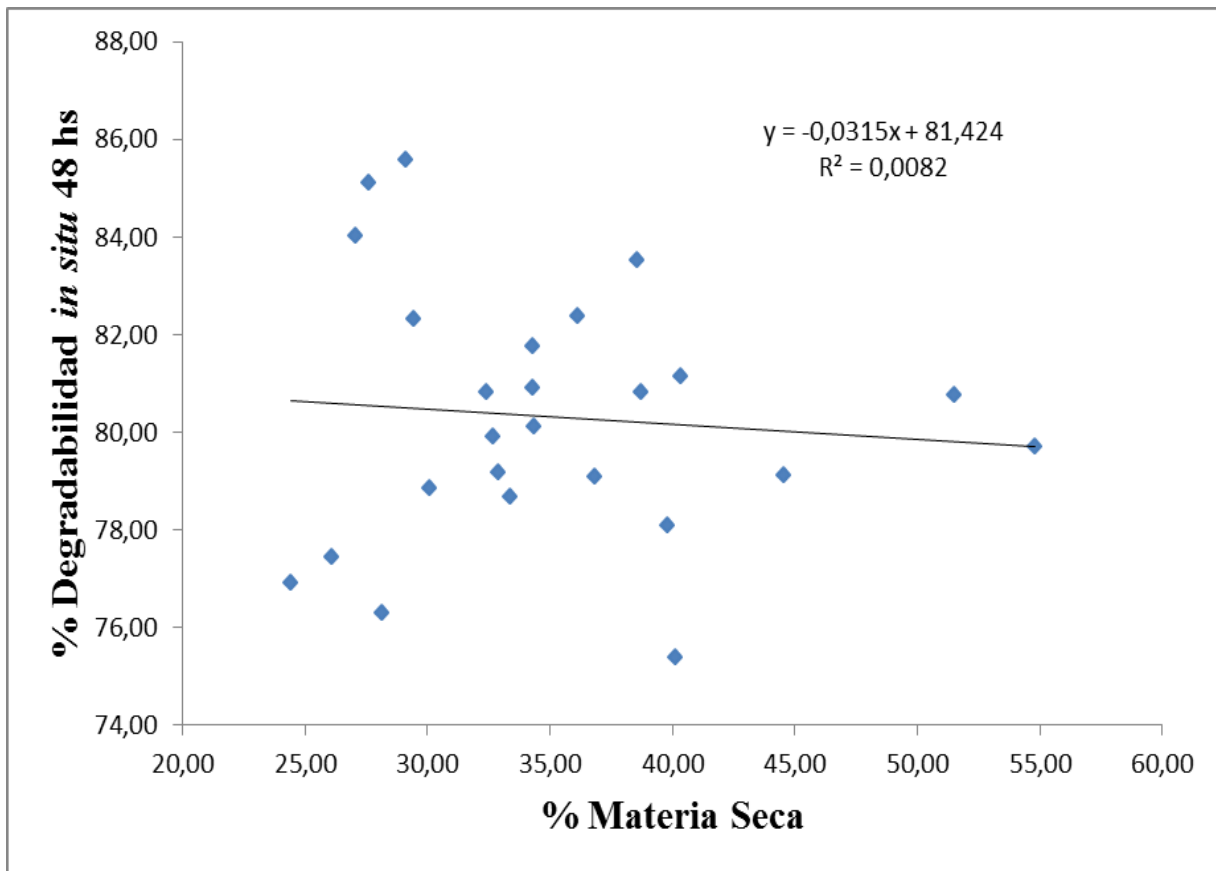


Gráfico 12: Relación entre el contenido de Materia Seca (% Materia Seca) y Degradabilidad en rumen a 48 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 48 hs.) para las muestras de silaje de maíz en estudio, se incluye ecuación de regresión lineal.

El porcentaje de proteína bruta de los materiales ensilados es una variable muy importante, ya que tiene que cubrir los requerimientos nutricionales de los microbios ruminales y a través de ellos de los animales hospedantes. Los Gráficos 13 y 14 muestran la relación entre el porcentaje de proteína bruta (% PB) y la degradabilidad tanto a las 24 y 48 horas, arrojando un R^2 que en ninguno de los dos casos supera el valor 0,046, indicando que la relación entre ambas variables es muy baja, lo cual determina que la concentración de % PB no estima adecuadamente la degradabilidad *in situ* del silaje de maíz.

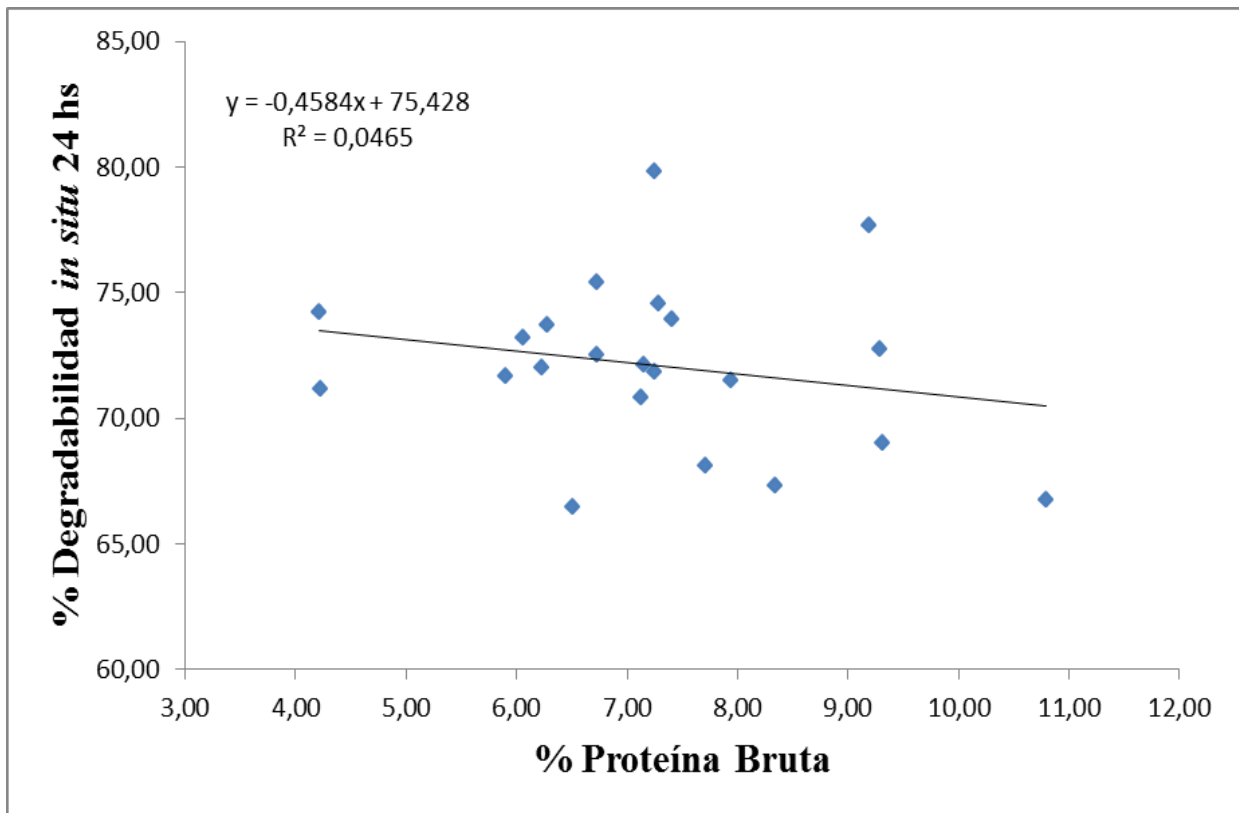


Gráfico 13: Relación entre el contenido de Proteína Bruta (% Proteína Bruta) y Degradabilidad en rumen a 24 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 24 hs.) para las muestras de silaje de maíz en estudio, se incluye ecuación de regresión lineal.

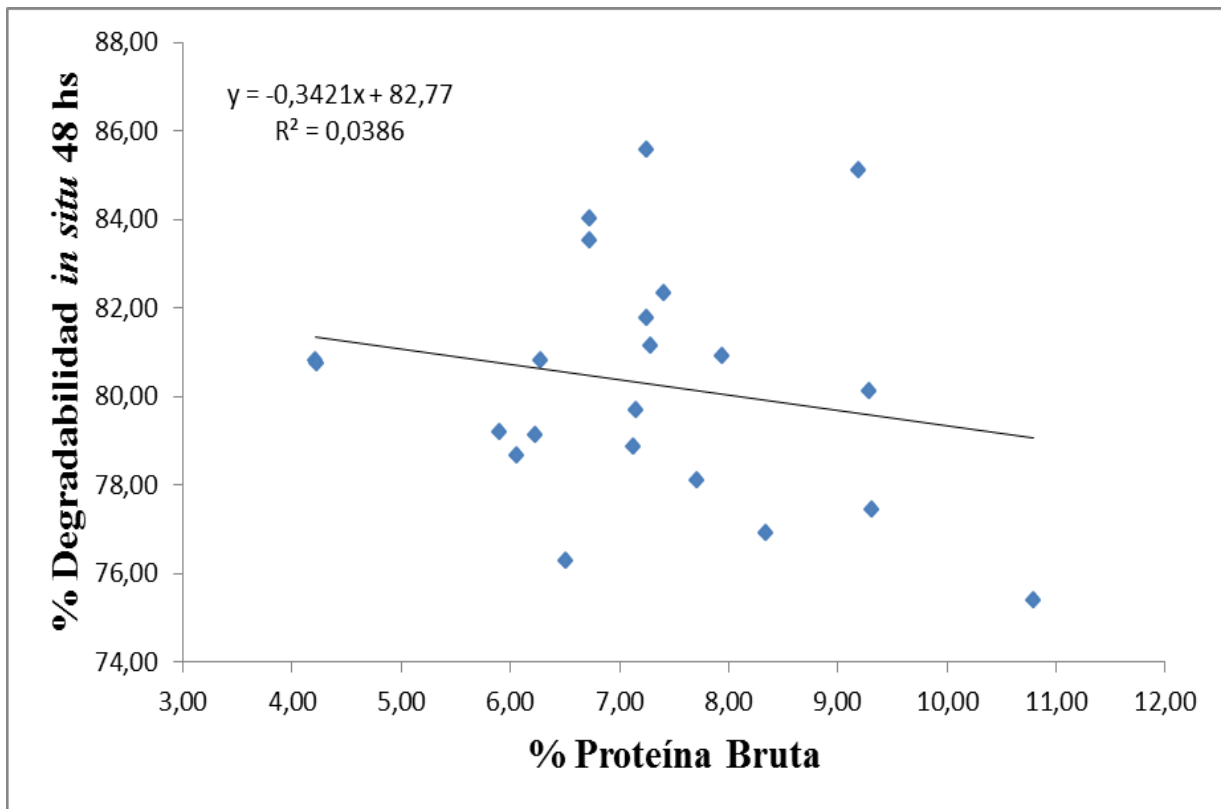


Gráfico 14: Relación entre el contenido de Proteína Bruta (% Proteína Bruta) y Degradabilidad en rumen a 48 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 48 hs.) para las muestras de silaje de maíz en estudio, se incluye ecuación de regresión lineal.

El Gráfico 15 muestra que hay una alta relación entre la Degradabilidad *in situ* a las 24 y a las 48 horas de incubación, ya que el R^2 es de 0,816.

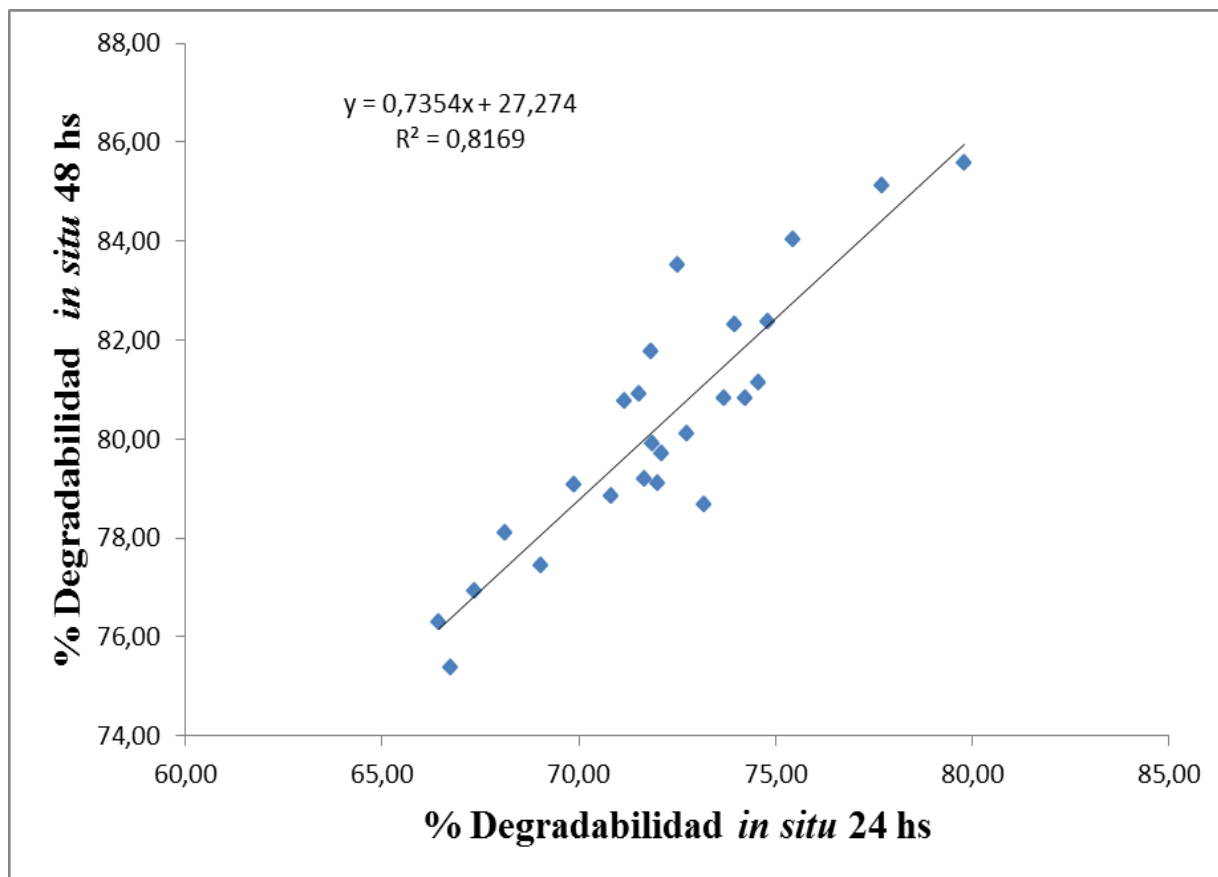


Gráfico 15: Relación entre Degradabilidad en rumen a 24 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 24 hs.) y Degradabilidad en rumen a las 48 horas de incubación (% Degradabilidad *in situ* 48 hs.) para las muestras de silaje de maíz en estudio, se incluye ecuación de regresión lineal.

Las ecuaciones sobre las que se basó el presente estudio son utilizadas por la mayoría de los laboratorios que se dedican a la determinación del valor nutritivo en alimentos para rumiantes, basando sus análisis en las determinaciones de fibra y proteína bruta (% PB). De la primera de ellas, y específicamente a partir de determinaciones de fibra en detergente ácido (% FDA) se originan las ecuaciones estudiadas, y de éstas se derivan estimaciones de concentración de energía digestible y metabolizable (Monforte Castañeira, 2014).

Luego de analizar los resultados obtenidos se puede afirmar que las estimaciones de degradabilidad ruminal por medio de las ecuaciones son cuestionables, ya que presentan una baja relación con lo que ocurre en el ambiente ruminal.

El porcentaje de materia seca (% MS) es una variable de uso frecuente para determinar la calidad nutritiva del silaje. Los silajes que presentan porcentajes de materia seca muy bajos tienen problemas de exceso de agua, produciendo pérdidas de nutrientes por lixiviación, y aquellos que presentan altos porcentajes de materia seca no permiten una buena compactación, impactando sobre el proceso de anaerobiosis y reduciendo la calidad nutritiva, esto denota que se confeccionaron estando el cultivo pasado. Entonces es esperable una relación curvilínea entre el contenido de materia seca y la degradabilidad, esperando que los mayores valores de degradabilidad se encuentren asociados con los valores medios de materia seca, sin embargo, esto no sucedió, ya que la relación encontrada en este estudio demuestra que la relación entre las dos variables es muy baja (R^2 más alto encontrado es de 0,0082). Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Monforte Castañeira (2014).

La proteína bruta del alimento se compone de proteína degradable (% PDR) y proteína no degradable (% PND) en rumen. Mientras que el % PDR es utilizada por los microorganismos ruminales para su mantenimiento y crecimiento, la % PND llega sin alteraciones al intestino, para ser digerida y absorbida allí (Loughlin, 2010). La proporción entre ambas determina la degradabilidad potencial de la proteína en rumen. Analizando los resultados de proteína bruta, se desprende que la pendiente es negativa, significando que al aumentar el porcentaje de proteína bruta disminuye la degradabilidad. La relación entre las variables es muy baja, ya que los R^2 son bajos, disminuyendo más a las 48 hs de incubación, significando que esta variable por sí sola no se puede usar para estimar degradabilidad.

El % FDN representa los componentes de la pared celular (hemicelulosa, celulosa, lignina, etc.), indicando si el alimento es o no fibroso (Castro y Gallardo, 2009) y la proporción de la fibra en el total de la materia seca del alimento. La relación encontrada entre degradabilidad y % FDN es menor que la encontrada para % FDA, contradiciendo a lo dicho por Van Soest (1994).

El método más exacto para las determinaciones de degradabilidad es el de incubación ruminal, por medio de animales provistos de cánulas ruminales, aunque es más engorroso, consume mayor tiempo y hay que tener las instalaciones para el alojamiento de los animales. Se llega a esta conclusión ya que las medidas indirectas de predicción de esta variable se correlacionan pobremente con ella. Los resultados obtenidos son coincidentes a los obtenidos por Kitessa *et al.* (1999) y Mohamed y Shakoor Chaudhry (2008).

Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que la utilización de ecuaciones basadas en el uso de % FDA, así como otras variables corrientemente utilizadas (% MS, % PB y % FDN) para estimar degradabilidad ruminal es objetable.

Las degradabilidades a 24 horas y 48 horas de incubación presentaron una relación muy alta y esperable.

Sería recomendable continuar con estudios referidos a las mismas variables utilizadas en este trabajo u otras, que permitan corregir las ecuaciones, tratando de obtener mayor grado de precisión en el uso de las mismas, ya que constituyen un método rápido, sencillo y de uso generalizado.

Bibliografía

Abrams, S.M. 1988. Sources of error in predicting digestible dry matter from the acid-detergent fiber content of forages. Anim. Feed Sci. Tech. 21: 205-208.

Andrae, J.G; Hunt, C.W y Pritchard, G.T. 2001. Effect of hybrid, maturity, and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle. J. Anim. Sci. 79: 2268-2275.

Carreño, L y Viglizzo, E.F. 2007. Provisión de servicios ecológicos y gestión de los ambientes rurales en Argentina. Ediciones INTA, Buenos Aires. 68 p.

Carrete, J. 1999. Maíz para silaje. Cuadernillo entregado a los participantes de Jornada a campo. Novedades en forraje. Producción. Calidad y Mejoramiento. EEA Pergamino, Generación y Evaluación de Cultivares Forrajeros. pp. 75-79

Castro, H. y Gallardo, M. 2009. Silaje bien manejado genera mejor resultado. ¿Le salió con mucho grano? Instituto de Patobiología, CNIA-INTA Castelar.

Cattani, P.; Bragachini, M. y Peiretti, J. 2008. Silaje. En: Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional. INTA – PRECOP II. Manual Técnico N° 6. pp. 135-174.

De León, M. 2006. El silaje de sorgo y maíz permite intensificar la producción de carne bovina. Producir XXI 181: 44-47.

Di Marco, O.N.; Aello, M.S. y Arias, S. 2005. Digestibility and ruminal digestion kinetics of corn silage. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. 57: 223-228.

Ferri, C.M.; Jouve, V.V.; Stritzler, N.P. y Petruzzi, H.J. 1998. Estimation of intake and digestibility of Kleingrass from *in situ* parameters in sheep. Anim. Sci. 67: 535-540.

Genero, G. y Cangiano, C. 2013. Ensilaje de maíz BMR, una muy buena opción. *Producir XXI* 261: 32-36.

Kitessa, S.; Irish, G. G. y Flinn, C. 1999. Comparison of methods used to predict the in vivo digestibility of feeds in ruminants. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 825–842.

Loughlin, R.J. 2010. Requerimientos de proteína y formulación de raciones en bovinos para carne. *Investigación y Desarrollo Agropecuario. Revista Veterinaria Argentina.* Noviembre de 2015. Volumen XXXII N° 331.

Menke, K. H. y Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Develop.* 28: pp. 209-221.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca 2015. Existencias Bovinas 2015. www.minagri.gob.ar. Último acceso: 9 de noviembre de 2015.

Mohamed, R. y Shakoor Chaudhry, A. 2008. Methods to study degradation of ruminant feeds. *Nutr. Res. Rev.* 21: pp. 68–81.

Monforte Castañeira, M. S. 2014. Predicción de la degradabilidad en rumen de silajes de maíz y sorgo mediante ecuaciones basadas en el contenido en fibra detergente ácido. Trabajo final de graduación. Facultad de Agronomía U.N.L.Pam. 37 p.

Peñagaricano, J.A. 1988. Ensilaje de maíz, una buena reserva para alimentar el ganado. *Manual de extensión agropecuaria.* Editorial Hemisferio Sur. pp. 7-17.

Ramírez, E.; Catani, P. y Ruiz, S. 1999. La importancia de la calidad del forraje y el silaje. *Marca Liquida,* Noviembre. pp. 23-28.

Rearte, D.H. 2007a. La producción de carne en Argentina. Editorial INTA. 25 p.

- Rearte, D.H. 2007b.** Distribución territorial de la ganadería vacuna. Editorial INTA. 12 p.
- Rearte, D.H. 2011.** El rol de las pasturas cultivadas y pastizales en el nuevo escenario de la ganadería Argentina. En: Producción Animal en Pastoreo. C.A. Cangiano y M.A. Brizuela Eds. Editorial INTA. Cap. 1 pp. 13-28.
- Robertson, J.B. y Van Soest, P.J. 1981.** The detergent system of analysis. En: James, W.P.T., Theander, O. (Eds.), The Analysis of Dietary Fibre in Food. Marcel Dekker Ed., NY, Chapter 9, pp. 123–158.
- Rohweder, D.A.; Barnes, R.F. y Jorgensen, N. 1978.** Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. J. Anim. Sci. 47: 747-759.
- Romero, L.A. 2004.** Calidad en forrajes conservados. EEA Rafaela, INTA. pp. 28-30.
- Romero, L.A. 2012 a.** Ensilajes. En: Forrajes Conservados. Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros. Manual de Actualización Técnica, 3ª edición. pp. 58-62.
- Romero, L.A. 2012 b.** Ensilaje de Maíz. En: Forrajes Conservados. Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros. Manual de Actualización Técnica, 3ª edición. pp. 64-69.
- Satorre, E.H. 2005.** Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. Ciencia Hoy 15: pp. 24-31.
- Satorre, E.H. 2008.** Producción de Maíz, AACREA. 169 p.
- Stritzler, N.P.; Rabotnikof, C.M.; Ferri, C.M. y Pagella, J.H. 2011.** Los forrajes conservados en la alimentación de rumiantes. En: Producción animal en pastoreo. C.A. Cangiano y M.A. Brizuela (eds.). Editorial INTA. Cap. 6. pp. 155-180.
- Vago, M.E.; Monforte, M.; Rabotnikof, C.; Stritzler, N.; Arcuri, P.; Chifflet, S.; Perez, A y Argentini, A. 2010.** Comparación entre ecuaciones basadas en el contenido de fibra detergente ácido y degradabilidad en rumen de silaje de maíz. Rev. Arg. Prod. Anim. 30 (Supl. 1): 443-444.

Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA. 476 p.