

Valor nutricional, producción de gas *in vitro* y degradación ruminal *in situ* de ensilaje de maíz enriquecido con *Saccharomyces cerevisiae*

Nutritional value, *in vitro* gas production and *in situ* rumen degradation of maize silage enriched with *Saccharomyces cerevisiae*

Ramón Aragadvay-Yungán^{1,4}, Marcos Barros Rodríguez¹,
Edwin Basantes-Basantes², Ángela Carrasco Cando³

RESUMEN

El objetivo del estudio fue valorar nutricionalmente al ensilaje de maíz (EMz) enriquecido con *Saccharomyces cerevisiae* (*Sc*) y cuantificar la producción de gas *in vitro* y degradación ruminal *in situ*. Los tratamientos fueron T0: EMz, T1: EMz + 10% *Sc*, T2: EMz + 20% *Sc*. El contenido de fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) mostró una tendencia lineal decreciente con respecto al incremento de los niveles de *Sc* y fue menor en T1 y T2 en comparación con T0. La digestibilidad de la materia orgánica y energía metabolizable (EM) mostró una tendencia lineal decreciente a medida que los niveles de *Sc* fueron adicionados. The lowest *in vitro* gas production corresponded to T1 (118.75 ml gas/0.5 g MSF). The greater amount of soluble fraction degraded *in situ* was evidenced in T2 (328.12 g/kg MS), also showing an increasing linear trend with the addition of *Sc*. It is concluded that the enrichment with 20% of *Sc* in the elaboration of EMz showed a lower production of gas *in vitro* and favoured the parameters the rumen degradation *in situ*.

Palabras clave: cinética ruminal, nutrición, levadura, producción de gas

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

² Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica

³ Instituto Superior Tecnológico Benjamín Araujo

⁴ E-mail: rg.aragadvay@uta.edu.ec

Recibido: 26 de julio de 2021

Aceptado para publicación: 28 de enero de 2022

Publicado: 25 de febrero de 2022

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the nutritional value of maize silage (EMz) enriched with *Saccharomyces cerevisiae* (Sc) and quantify *in vitro* gas production and rumen degradation *in situ*. The treatments were T0: EMz, T1: EMz + 10% Sc, T2: EMz + 20% Sc. The content of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) showed a linear decreasing trend with respect to the increase in Sc levels and it was lower in T1 and T2 compared to T0. The digestibility of organic matter and metabolizable energy (ME) showed a linear downward trend as Sc levels were added. The lowest *in vitro* gas production corresponded to T1 (118.75 ml gas/0.5 g FDM). The greater amount of soluble fraction degraded *in situ* was evidenced in T2 (328.12 g/kg MS), also showing an increasing linear trend with the addition of Sc. It is concluded that the enrichment with 20% of Sc in the elaboration of EMz showed a lower production of gas *in vitro* and favored the parameters the rumen degradation *in situ*.

Key words: ruminal kinetics, nutrition, yeast, gas production

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más utilizados para la preparación de ensilados como fuente alimenticia del ganado (Neves *et al.*, 2015; Junior *et al.*, 2017). El ensilado es un proceso fermentativo y anaerobio, donde el ácido láctico es el responsable de mantener un medio adecuado para el crecimiento bacteriano en un pH entre 4.0 y 4.2, inhibiendo de esta forma el desarrollo de microorganismos que provocan la putrefacción (Wong, 2001). El proceso de ensilado permite reciclar y conservar productos y subproductos de cosecha por largos periodos bajo diferentes escenarios climáticos (Aragadvay-Yungán *et al.*, 2015; Wendling y Pinheiro, 2018).

Esta herramienta tecnológica es, por otro lado, una alternativa para prevenir la contaminación ambiental (Llano y López, 2008), fortaleciendo además la sostenibilidad de la ganadería mediante el uso eficiente de forrajes ricos en nitrógeno y evitando su liberación al medio ambiente (Llano, 2012). Sin embargo, una alta degradabilidad de proteínas de los ensilajes disminuye su uso como fuentes de proteínas, de allí que el aumento

de nitrógeno amínico durante el almacenamiento debe utilizarse como una guía para determinar el grado de descomposición de las proteínas y la calidad de la fermentación del ensilado (Llano, 2012). En este sentido, en la elaboración de ensilaje de maíz se han utilizado diferentes aditivos, tanto solos como combinados con urea (Llano y López, 2008), óxido de calcio (Cristina *et al.*, 2015) y glicerina (Bensimon *et al.*, 2015), entre otros.

El uso de levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* (Sc) es un aditivo que puede ser utilizado en la elaboración de ensilajes. Todas las especies de levaduras del género *Saccharomyces* fermentan ciertos tipos de azúcares en medios anaerobios (Barnett, 1976). Durante el proceso de ensilado se produce una fermentación láctica en un ambiente anaerobio, donde los carbohidratos hidrosolubles, principalmente azúcares como hexosas (glucosa) y pentosas (D-xilosa), son los principales sustratos (Lezcano *et al.*, 2017). Sc es una levadura que no puede fermentar glucosa y D-xilosa (Barnett, 1976); sin embargo, puede degradar lentamente la D-xilulosa, que es un cetoisómero de la D-xilosa. Por lo tanto, se considera que la D-xilulosa-5-fosfato formada de este modo entra en la ruta metabólica de la pentosa 5-

fosfato (Wang y Schneider, 1980) para la obtención de piruvato, que puede ser utilizado por las bacterias lácticas durante la fermentación.

Por otro lado, se ha utilizado Sc modificados o añadidos con enzimas específicas para permitir la acumulación intracelular de xilosa y permitir un metabolismo eficiente de la D-xilosa y celobiosa (Kotter y Ciriacy, 1993; Ha *et al.*, 2011). Es así que, el objetivo del estudio fue determinar el valor nutricional, producción de gas *in vitro* y degradación ruminal *in situ* de ensilajes de maíz enriquecidos con *Saccharomyces cerevisiae* para obtener un alimento estratégico para rumiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y Tratamientos

La investigación fue desarrollada en el laboratorio de ruminología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato (UTA). Se utilizó forraje de maíz blanco (*Zea mays*, variedad INIAP 101 maíz blanco) sembrado el 4 de abril de 2019 en el centro experimental de la UTA y cosechado a los 182 días. Las plantas fueron picadas inmediatamente después de la cosecha en trozos de 2.5 cm, utilizando una picadora JF 30 EVO®. El forraje fue pesado y guardado en 24 bolsas de polietileno de 0.07 mm bajo la forma de microsilos. En cada microsilos se añadió, según su peso fresco, 0, 10 y 20% de levadura de panadero (Fleishmann® células activas de *Saccharomyces cerevisiae*) que correspondieron al tratamiento control (T0), tratamiento 1 (T1) y tratamiento 2 (T2), respectivamente. El aire de cada bolsa fue extraído y las bolsas fueron selladas con cinta adhesiva. Cada microsilos tenía un peso de 4 kg y fueron abiertos a los 70 días.

Para determinar el pH, se tomaron de 20 g de cada microsilos, se colocaron en una licuadora con 180 ml de agua destilada a tem-

peratura ambiente por 30 s. La mezcla fue pasada por cuatro capas de tela manta de cielo y el pH se midió en el extracto con potenciómetro digital (Aragadvay-Yungán *et al.*, 2015).

Se tomaron muestras de cada microsilos (100 g) para la determinación de materia seca (MS). El contenido restante de los microsilos se desecó en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta alcanzar un peso constante. Se tuvo en cuenta durante el secado el uso de factores de corrección cuando no se utiliza la técnica de arrastre de tolueno (Dulphy y Demarquilly, 1981), que toma en cuenta las pérdidas de compuestos volátiles multiplicando por el factor 1.08 cuando la MS oscila entre 20 a 29%, como en el presente trabajo. Todas las muestras secas se molieron para reducir el tamaño de la partícula usando un molino de martillo con un tamiz de 1 mm, y se almacenaron para su posterior valoración nutricional y ensayos *in vitro*.

Análisis Químico

- La MS se determinó mediante el secado de 1 g en una estufa de aire forzado a 100 °C durante 24 h.
- Las cenizas fueron determinadas mediante incineración en mufla durante 4 h a 450 °C (AOAC, 1990).
- La materia orgánica (MO) se calculó restando las cenizas del contenido de MS total.
- El nitrógeno (N) se determinó por el método de micro Kjeldahl (AFRC, 1993), y la proteína cruda (PC) se calculó como el producto de N x 6.25.
- La fibra neutro detergente (FND) y la fibra ácido detergente (FAD) se determinaron usando técnicas recomendadas (Ankom, 2005).
- La energía metabolizable (EM) fue estimada multiplicando la digestibilidad de la MO (DIVMO) x 0.0157 (Ankom, 2005).

Producción de Gas *in vitro*

La cinética de fermentación de los tratamientos fue determinada por la técnica de producción de gas *in vitro* (PGIV) (Theodorou *et al.*, 1994). La producción de gas se midió con un transductor de presión Delta OHM DO 9704 (Delta OHM, Padova, Italia) en botellas de 100 ml. Se incubó 0.5 g de MS en ocho botellas (repeticiones) por tratamiento con sus respectivos blancos. La prueba se hizo por duplicado en 24 botellas para PG y 24 para digestibilidad *in vitro*. En cada botella se adicionaron 60 ml de inóculo ruminal (70:30 medio amortiguador: líquido ruminal respectivamente) bajo un flujo de CO₂ constante.

El líquido ruminal fue colectado de dos toros adultos fistulados, con peso promedio de 380 kg, con una alimentación basada en una mezcla forrajera (70% gramíneas y 30% leguminosas) cortada y suministrada en comederos individuales para cada animal y acceso a agua a voluntad. El líquido ruminal fue colectado en las primeras horas del día, filtrado a través de cuatro capas de tela manta de cielo y colocado en termos a 39 °C para su transporte al laboratorio

Las botellas de gas fueron selladas e incubadas a 39-40 °C. La producción de gas se determinó con el transductor de presión a las 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 y 48 h de incubación. Los parámetros de fermentación *in vitro* se estimaron mediante el ajuste del volumen de gas acumulado de cada botella, mediante la fórmula $PGIV = B (1 - \exp -r (t-lag))$ (Krishnamoorthy *et al.*, 1991), donde: PGIV = producción total de gas *in vitro* (0.5 g/g MS); B = producción asíntota de gas; r = porcentaje de producción de gas en un tiempo t; y lag = tiempo transcurrido antes del inicio de la fermentación de los carbohidratos estructurales.

Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) y de la MO (DIVMO) se evaluó-

transcurrido las 48 h de incubación. El sustrato residual se removió con agua destilada y se filtró en papel filtro (Camlab® 1171058 grado 601/ 5-13 μm retención de partícula). La MS residual se colocó en estufa a 105 °C hasta llegar a peso constante. La DIVMS se determinó por diferencia de peso entre la MS inicial y la MS residual. La MS residual fue colocada en una mufla a 450 °C durante 4.5 h para determinar el contenido de cenizas y poder calcular la MO residual. La DIVMO se calculó por diferencia de peso entre la MO inicial y la MO residual.

Degradación Ruminal *in situ*

Se utilizó la técnica de la bolsa de nylon en el rumen (Ørskov *et al.*, 1980). En cada bolsa se colocaron 3 g de MS de cada tratamiento (cinco bolsas por tratamiento / repeticiones). Las bolsas se colocaron en el rumen de uno de los toros fistulados indicados anteriormente durante 0, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 h. Las bolsas fueron removidas luego de los respectivos periodos de incubación, lavadas con agua corriente y secadas a 60 °C. Las bolsas de 0 h no fueron colocadas en el rumen y solo fueron lavadas con agua corriente. La desaparición de la materia seca fue calculada como una proporción del material incubado y residual y los datos fueron ajustados a la ecuación: $Y = A + B (1 - e^{-ct})$ (Ørskov y McDonald, 1979), donde A = fracción soluble; B = fracción insoluble pero potencialmente fermentable; c = tasa de degradación en un tiempo t. El cálculo de la degradación ruminal de la MS se estimó con el programa Graphpad Prism 6 (San Diego, USA).

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar bajo el modelo $Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$; donde Y_{ij} es la variable de respuesta perteneciente al j-ésimo elemento y al i-ésimo tratamiento, μ es la media general, T_i es efecto debido al i-ésimo tratamiento y e_{ij} es el error experimental asociado al j-ésimo elemento del i-

ésimo tratamiento. Las tendencias lineales (L) o cúbicas (C) para cada variable en los tratamientos fueron analizadas mediante polinomios ortogonales con el modelo $t C_j = S C_{ij} T_i i=1$; donde C es el contraste, C_{ij} es el coeficiente del tratamiento en el contraste j y T_i es el total del tratamiento i . Se utilizó el paquete estadístico SAS v. 9.2 (SAS Institute, USA) para determinar las variables de valor nutritivo, digestibilidad, parámetros de producción de gas y degradación *in vitro* y el análisis de polinomios ortogonales. Se empleó el análisis de varianza para cada variable y en los casos de diferencias estadísticas ($p < 0.05$) se utilizó la prueba de Tukey para determinar diferencias entremedias. Las tendencias L y C en el análisis de polinomios ortogonales se consideraron diferentes si $p < 0.05$.

RESULTADOS

El valor nutricional de los ensilajes de maíz se muestra en el Cuadro 1. El valor de pH fue significativamente mayor ($p < 0.0001$) en T1 (4.1) y T2 (4.2) comparados con T0 (3.5). El valor de MO fue mayor en T0 y disminuyó significativamente en T1 y T2 ($p = 0.0007$), mientras que el valor de las cenizas tuvo un comportamiento opuesto. El contenido de FND y FAD fue similar entre T1 y T2, pero menor a T0 ($p = 0.0022$ y $p = 0.0004$, respectivamente). Por otro lado, el contenido de MS y PC fue similar entre tratamientos. El contenido de MO, FND y FAD mostró una tendencia lineal decreciente con respecto al incremento de los niveles de *Sc* en los ensilajes.

La digestibilidad de la MS, MO y EM fue similar entre tratamientos (Cuadro 2). Sin embargo, la DIVMO y la EM mostraron una tendencia lineal decreciente a medida que los niveles de *Sc* (0, 10 y 20) se incrementaron.

Los parámetros de producción de gas *in vitro* de los ensilajes se muestran en el Cuadro 3. La menor producción de gas correspondió a T1 (118.75 ml gas/0.5 g⁻¹ MSF).

El porcentaje de producción de gas en el tiempo y la tasa de producción de gas disminuyó significativamente ($p < 0.0001$) en los tratamientos enriquecidos con *Sc*. Por otro lado, la producción de total de gas mostró una tendencia cuadrática a medida que los niveles de la levadura fueron incluidos en los ensilajes.

Los parámetros de degradación ruminal *in situ* de los ensilajes se muestran en el Cuadro 4. La mayor cantidad de fracción soluble degradada (A) se evidenció en T2 (328.12 g/kg⁻¹ MS), mostrando además una tendencia lineal creciente con la adición de *Sc*. Similar comportamiento se observó para la fracción insoluble, pero potencialmente degradable (B), que fue significativamente menor en T2 (472.29 g/kg⁻¹ MS). Por otro lado, la tasa de degradación y el potencial total de degradación fueron similares entre tratamientos.

Por otro lado, la degradación ruminal *in situ* (Figura 1) mostró en las primeras 12 horas pos-alimentación un mayor porcentaje de degradación de la MS total en T2 (328.12 g/kg MS), relacionado a un mayor contenido de carbohidratos solubles en este tratamiento (proteínas y carbohidratos solubles especialmente), y que consecuentemente afectaría a cambios en las concentraciones de los microorganismos ruminales y su capacidad de adhesión a este tipo de carbohidratos.

DISCUSIÓN

La adición de *Sc* en el ensilaje de maíz incrementó el pH, resultado similar encontrado en otras investigaciones (Mafakher *et al.*, 2010). El pH se encuentra relacionado a la estabilidad aeróbica (Bensimon *et al.*, 2015), capacidad buffer y buen proceso de conservación (Pippard *et al.*, 1996). Por otro lado, el contenido de MS estuvo por debajo de valores reportados por otros autores (Hernández-Ortega *et al.*, 2011; Aragad-vay-Yungán *et al.*, 2015). La MS es un nutriente importante por su relación directa con con-

Cuadro 1. Valor nutricional del ensilaje de maíz (EMz) enriquecido con tres niveles de *Saccharomyces cerevisiae* (Sc)

Parámetros ¹	Tratamientos			Tendencia ²			
	EMz (T0)	EMz +10%Sc (T1)	EMz +20%Sc (T2)	L	C	EE	Valor p
pH	3.5 ^b	4.1 ^a	4.2 ^a	***	***	0.043	<0.0001
MS (g/kg MS)	220.31	204.03	204.87	ns	ns	0.531	0.0729
Cenizas (g/kg MS)	52.26 ^c	60.68 ^b	67.63 ^a	***	ns	0.138	0.0007
MO (g/kg MS)	947.74 ^a	939.32 ^b	932.37 ^c	***	ns	0.138	0.0007
PC (g/kg MS)	90.72	91.83	91.93	ns	ns	0.285	0.9446
FND (g/kg MS)	475.74 ^a	456.23 ^b	446.80 ^b	***	ns	0.330	0.0022
FAD (g/kg MS)	254.15 ^a	234.57 ^b	233.16 ^b	***	**	0.189	0.0004

¹ MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; PC: Proteína cruda; FND: Fibra neutro detergente; FAD: Fibra ácido detergente

² L= lineal, C= cúbico, EE=error estándar

^{a,b,c} Medias con distinta letra entre columnas son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Cuadro 2. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO), y energía metabolizable (EM) estimada del ensilaje de maíz (EMz), enriquecido con tres niveles de *Saccharomyces cerevisiae* (Sc)

Parámetros ¹	Tratamientos			Tendencia ¹			
	EMz (T0)	EMz +10%Sc (T1)	EMz +20%Sc (T2)	L	C	EE	Valor p
DIVMS (g/kg MS)	759.80	700.43	702.45	ns	ns	1.989	0.0790
DIVMO (g/kg MS)	720.10	657.93	654.95	*	ns	1.877	0.0380
EM (MJ/kg MS)	11.31	10.33	10.28	*	ns	0.294	0.0378

¹ L= lineal, C= cúbico; EE=error estándar

sumo voluntario, digestibilidad, granos y proporciones de fibra en el ensilaje (Martin *et al.*, 2012).

El contenido de PC se encontró en rangos similares a los reportados en otros estudios (Ítavo *et al.*, 2006). Sin embargo, los

contenidos son bajos y pueden comprometer la disponibilidad de péptidos, aminoácidos libres y amoníaco que son fuentes de N para el crecimiento microbiano, el cual debería encontrarse entre el 14 al 15% de la MS en la dieta.

Cuadro 3. Producción de gas *in vitro* (PGIV) por materia seca fermentable (MSF) del ensilaje de maíz (EMz), enriquecido con tres niveles de *Saccharomyces cerevisiae* (Sc)

Parámetros ¹	Tratamientos			Tendencia ¹			
	EMz (T0)	EMz +10%Sc (T1)	EMz +20%Sc (T2)	L	C	EE	Valor p
PGIV (ml gas/0.5 g MSF)	162.99 ^a	118.75 ^b	153.65 ^a	ns	***	8.285	0.0027
r (%/h) ²	4.80 ^a	3.60 ^b	2.91 ^b	***	ns	0.002	<0.0001
Lag (h) ³	0	0.08	0.27	*	ns	0.076	0.0600
TPG (ml gas/0.5 g incubado) ⁴	5.60 ^a	3.05 ^b	3.13 ^b	***	***	0.197	<0.0001

¹ L= lineal, C= cúbico; EE=error estándar

r: Porcentaje de producción de gas en un tiempo t; Lag: Tiempo en horas antes que inicie la fermentación de la fibra neutro detergente; TPG: Tasa de producción de gas

^{a,b} Medias con distinta letra entre columnas son significativamente diferentes (p<0.05)

Cuadro 4. Degradación ruminal *in situ* de la fracción soluble (A), fracción insoluble pero potencialmente fermentable (B), tasa de degradación en un tiempo t (c) y potencial total de degradación (A+B) del ensilaje de maíz (EMz) enriquecido con tres niveles de *Saccharomyces cerevisiae* (Sc)

Parámetros ¹	Tratamientos			Tendencia ¹			
	EMz (T0)	EMz +10%Sc (T1)	EMz +20%Sc (T2)	L	C	EE	Valor p
t0 ²	324.33	266.36	333.45	ns	ns	2.587	0.1810
A(g/kg MS)	207.20 ^b	186.60 ^b	328.12 ^a	*	ns	2.675	0.0058
B(g/kg MS)	546.80 ^a	580.78 ^a	472.29 ^b	*	*	1.770	0.0030
c (%/h)	4.50	3.61	3.10	ns	ns	0.004	0.1470
A+B(g/kg MS)	754.00	767.38	800.40	ns	ns	2.381	0.3947

¹ L= lineal, C= cúbico; EE=error estándar

² t0= tiempo cero (muestras lavadas en laboratorio)

^{a,b} Medias con distinta letra entre columnas son significativamente diferentes (p<0.05)

Los contenidos de FDN y FDA disminuyeron significativamente en T1 y T2, lo que equivaldría a un aumento de polisacáridos solubles. Estos contenidos favorecen a la disponibilidad de sustratos para las bacterias, protozoos y hongos que comparten relaciones comunes de crecimiento y adhesión a las partículas del alimento en el rumen (Hoover y Stokes, 1991). La disminución del contenido de FDN con el incremento de *Sc* se debió posiblemente al favorecimiento de las levaduras al utilizar la hemicelulosa (o incrementar la disponibilidad de la pared celular al facilitar su destrucción para que las bacterias hagan su función de degradación). Esto se ve reflejado en T2 que incrementa la tasa de degradación de A (fracción soluble) y numéricamente disminuye la tasa de degradación; es decir, se incrementa el tiempo de retención de las partículas en el rumen. Esto podría favorecer el consumo de MS *in vivo* (Van Soest, 1994).

Los valores de DIVMS, DIVMO y EM fueron similares entre tratamientos. Estos valores pueden estar relacionados positivamente (Yan y Agnew 2004) con los valores de PC que tampoco mostraron diferencias. Al contrario, Niderkorn y Baumont (2009) indican que los bajos contenidos de EM en ensilajes de maíz-girasol se deben a una disminución de la digestibilidad.

La menor PGIV en T1 podría estar relacionada a la naturaleza del sustrato y que a su vez se asocia con el tipo de carbohidratos estructurales que la constituye (García-Rodríguez *et al.*, 2005), lo que estaría en concordancia con el menor contenido de FDN y FDA mostrado en T1. Asimismo, la tasa de producción de gas (r, %/h) disminuyó al enriquecer el ensilado con *Sc*, sin afectar a la tasa de degradación de la MS (c, %/h). La tasa de degradación de la materia seca está directamente relacionada con la proporción de almidón, pectinas y azúcares (Hoover y Stokes, 1991).

Se encontró un mayor porcentaje de degradación de la MS total en T2 (328.12 g/kg MS) (Figura 1). En este sentido, Hoover y Stokes (1991) mencionan que los primeros sustratos en degradarse corresponden a los azúcares, almidones y pectinas, dado su grado de solubilidad. Estos resultados son similares a los reportados por Popova *et al.* (2011) y Bissi *et al.* (2018).

La cantidad degradada de la fracción soluble (A) de la MS se comportó inversamente proporcional a la fracción insoluble pero potencialmente degradable (B), comportamiento similar a lo encontrado por Junior *et al.* (2017), y relacionado a la disponibilidad de carbohidratos solubles en las primeras horas de degradación en el rumen. Por otro lado, las diferencias en la degradación de fracción B entre tratamientos se relacionarían al incremento en el contenido de FDN.

CONCLUSIONES

El ensilaje de maíz enriquecido con 20% de *Saccharomyces cerevisiae* disminuye la producción de gas *in vitro* y favorece los parámetros la degradación ruminal *in situ*.

LITERATURA CITADA

1. [AFRC] *Animal and Food Research Council*. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford, UK.: CAB International. 176 p.
2. *Ankom Technology*. 2005. Procedures for NDF, ADF, and *in vitro* digestibility ANKOM technology method. [Internet]. Available in: <http://www.ankom.com>
3. *AOAC*. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, USA: AOAC.

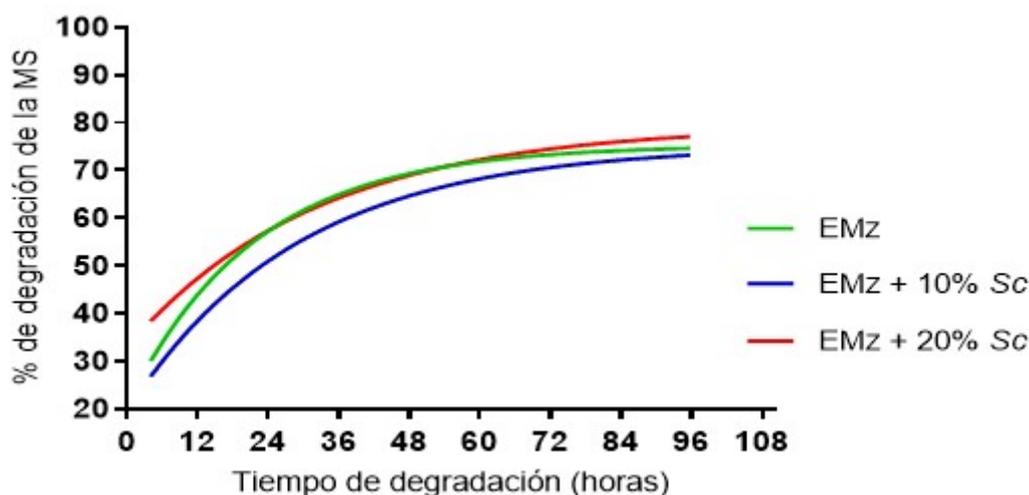


Figura 1. Cinética de degradación ruminal *in situ* de ensilado de maíz (EMz) enriquecido con *Saccharomyces cerevisiae* (Sc)

4. **Aragadvay-Yungán RG, Amor AAR, Heredia-Nava D, Estrada-Flores JG, Martínez-Castañeda FE, Arriaga-Jordán CM. 2015.** *In vitro* evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L) silage alone or combined with maize silage. Rev Mex Cienc Pecu 6: 315-327.
5. **Barnett JA. 1976.** The utilization of sugars by yeasts. Adv Carbohyd Chem Bi 32: 125-234. doi: 10.1016/S0065-2318(08)60337-6
6. **Bensimon M, De Moraes G, Cabreira C, Carlesso T, Martins O, Marcelo R. 2015.** Nutritional composition and ruminal degradability of corn silage (*Zea mays* L) with addition of glycerin in silage. Semin-Cienc Agrar 36: 2079-2092. doi: 10.5433/1679-0359.2015v-36n3Supl1p2079
7. **da Freiria L, Zervoudakis J, de Paula N, Cabral L, Vilas Boas Y, da Rosa e Silva PI, Melo AC, et al. 2018.** Kinetic parameters of ruminal degradation *in vitro* with combinations of exogenous enzymes in diets of production systems simulated. Rev Bras Saúde Prod Anim 19: 69-82. doi: 10.1590/S1519-994020-18000100007
8. **Dulphy JP, Demarquilly C. 1981.** Correction de la teneur en matière sèche des ensilages. prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Versailles: INRA Publications.
9. **García-Rodríguez A, Mandaluniz N, Flores G, Oregui L. 2005.** A gas production technique as a tool to predict organic matter digestibility of grass and maize silage. Anim Feed Sci Tech 124: 267-276. doi: 10.1016/j.anifeedsci.-2005.04.035
10. **Ha SJ, Galazka JM, Rin Kim S, Choi JH, Yang X, Seo JH, Jin YS. 2011.** Engineered *Saccharomyces cerevisiae* capable of simultaneous cellobiose and xylose fermentation. P Natl Acad Sci Usa 108: 504-509. doi: 10.1073/pnas.-1010456108
11. **Hernández-Ortega M, Heredia-Nava D, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán C. 2011.** Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico. Trop Anim Health Pro 43: 947-954. doi: 10.1007/s11250-011-9788-2

12. Hoover WH, Stokes SR. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *J Dairy Sci* 74: 3630-3644. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78553-6
13. Ítavo CC, Morais M, Ítavo LC, de Souza AR, Davy FC, Albertini T, Costa C, *et al.* 2006. Padrão de fermentação e composição química de silagens de grãos úmidos de milho e sorgo submetidas ou não a inoculação microbiana. *Rev Bras Zootecn* 35: 655-664. doi: 10.1590/S1516-35982006000300005
14. Junior MC, Jobim CC, Osmari MP, Tres TT. 2017. Nutritional additives in high moisture corn silage. *Rev Bras Cienc Agr* 12: 105-111. doi: 10.5039/agraria.v12i1a5413
15. Kotter P, Ciriacy M. 1993. Microbiology biotechnology xylose fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl Microbiol Biot* 387: 776-783.
16. Krishnamoorthy U, Soller H, Stengass H, Menke H. 1991. A comparative study on rumen fermentation of energy supplements *in vitro*. *J Anim Physiol An N* 65: 28-35. doi: 10.1111/j.1439-0396.1991.tb00237.x
17. Lezcano P, Martínez M, Vázquez A, Pérez O. 2017. Main methods of processing and preserving alternative feeds in tropical áreas. *Cuban experience. Cuban J Agr Sci* 51: 1-10.
18. Llano DR. 2012. Cambios en nitrógeno amínico de ensilados. *Rev Cienc Téc Agropec* 21: 90-92.
19. Llano DR, López DM. 2008. Ensiling potential of orange fruit wastes (*Citrus sinensis*) potencial del ensilaje de desechos de naranja (*Citrus sinensis*). *Rev Cienc Tec Agropec* 17: 41-44.
20. Mafakher E, Meskarbashee M, Hassibi P, Mashayekhi M. 2010. Study of chemical composition and quality characteristics of corn, sunflower and corn-sunflower mixture silages. *Asian J Anim Vet Adv* 5: 175-179. doi: 10.3923/ajava.2010.175.179
21. Martin TN, Vieira V, Menezes LF, Ortiz S, Betonecelli P, Storck L. 2012. Bromatological characterization of maize genotypes for silage. *Acta Sci* 34: 363-370. doi: 10.4025/actascianimsci.v34i4.15271
22. Martins SS, Carvalho GG, Pires AJ, Silva R, Leite L, Pereira F, Mota A, *et al.* 2015. Qualitative parameters of sugarcane silages treated with urea and calcium oxide. *Semin-Cienc Agrar* 36: 1135-1144. doi: 10.5433/16790359-2015v-36n2p1135
23. Neves A, Dantas R, Pereira L, Tabosa J, Albuquerque I, Neves A, Verneque R. 2015. Agronomic characteristics of corn cultivars for silage production. *Semin-Cienc Agrar* 36: 1799-1806. doi: 10.5433/1679-0359.2015v36n3-Supl1p1799
24. Niderkorn V, Baumont R. 2009. Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants. *Animals* 3: 951-960. doi: 10.1017/S1751731109004261
25. Ørskov E, McDonald I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agr Sci* 92: 499-503. doi: 10.1017/S0021859600063048
26. Ørskov ER, Hovell D, Mould F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop Anim Prod* 3:195-213.
27. Pippard CJ, Porter MG, Steen RWJ, Gordon FJ, Mayne CS, Poots RE, Kilpatrick DJ. 1996. A method for obtaining and storing uniform silage for feeding experiments. *Anim Feed Sci Tech* 57: 87-95. doi: 10.1016/0377-8401(95)00843-8
28. Popova M, Martin C, Eugène M, Mialon MM, Doreau M, Morgavi DP. 2011. Effect of fibre- and starch-rich finishing diets on methanogenic Archaea diversity and activity in the rumen of

- feedlot bulls. Anim Feed Sci Tech 166: 113-121. doi: 10.1016/j.anifeedsci.-2011.04.060
29. **Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. 1994.** A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Anim Feed Sci Tech 48: 185-197. doi: 10.1016/0377-8401(94)90171-6
30. **Van Soest PJ. 1994.** Nutritional ecology of the ruminant animal. 2nd ed. Ithaca, US: Cornell University Press. 476 p.
31. **Wang PY, Schneider H. 1980.** Growth of yeasts on D-xylulose 1. Can J Microbiol 26: 1165-1168. doi: 10.1139/m80-193
32. **Wendling A, Pinheiro L. 2018.** Characterization of silage production and the use by dairy farmers in the West of Santa Catarina state. Semin-Cienc Agrar 39: 1639-1652. doi: 10.5433/1679-0359.-2018v39n4p1639
33. **Wong C. 2001.** El papel del ensilaje en la producción de rumiantes en los trópicos húmedos. En: Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Roma: FAO.
34. **Yan T, Agnew RE. 2004.** Prediction of nutritive values in grass silages: I. Nutrient digestibility and energy concentrations using nutrient compositions and fermentation characteristics. J Anim Sci 82: 1367-1379. doi: 10.2527/2004.-8251367x