

# Ruminal degradation kinetics of the corn silage with different levels of inclusion of vinasse\*

*Cinética de degradación ruminal del ensilaje de maíz con diferentes niveles de inclusión de vinaza*

*Cinética de degradação ruminal da silagem de milho com diferentes níveis de inclusão de vinhoto*

María Elizabeth Rendón Correa<sup>1</sup>, Zoot, cMsc; Ricardo Noguera<sup>2\*</sup>, Zoot, Msc, PhD; Sandra Lucía Posada Ochoa<sup>3</sup>, Zoot, Msc, PhD.

\*Autor para correspondencia: Ricardo Noguera. Sede de Investigación Universitaria (SIU). Universidad de Antioquia. Carrera 53 No. 61-30. Medellín, Colombia. Tel (574) 2196593. E-mail: ricnoguera@gmail.com.

<sup>1,3</sup>Grupo de Investigación en Ciencias Animales (GRICA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín Colombia.

(Recibido: 1 de octubre, 2013; aceptado: 25 de noviembre, 2013)

## Abstract

The ruminal degradation kinetics of silage depends on the biochemical changes occurring during the fermentation process. These changes affect the rate of degradation and the nutritional value of silage. The objective of this work was to determine the effect of the addition of vinasse in corn silage on the kinetics of degradation of dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (FDA) and hemicellulose (HEM). The inclusion of vinasse in corn silage decreased the soluble fraction and effective degradability of DM when compared to control treatment. The PC degradation was enhanced by the participation of vinasse in the silage. It wasn't verified a clear effect of the vinasse inclusion on cell wall degradation in the corn silage

## Key words

*forage conservation, in situ degradation, nutritional value, sugarcane.*

## Resumen

La cinética de degradación ruminal de los componentes nutricionales del ensilaje depende de los cambios bioquímicos durante el proceso de fermentación. Estos cambios afectan la tasa de degradación y el valor nutricional del material ensilado. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la adición de vinaza en el ensilaje de maíz sobre la cinética de degradación de la materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y hemicelulosa (HEM). La inclusión de vinaza en el ensilaje de maíz disminuyó la

\*Para citar este artículo: Rendón ME, Noguera R, Posada SL. Cinética de degradación ruminal del ensilaje de maíz con diferentes niveles de inclusión de vinaza. Rev CES Med Zootec. 2013; Vol 8 (2): 42-51.

fracción soluble y la degradabilidad efectiva de la MS cuando comparada con el tratamiento control. La extensión de la degradación de la PC fue favorecida por la participación de la vinaza en el ensilaje. No fue verificado un claro efecto de la inclusión de vinaza sobre la degradación de los componentes de la pared celular del maíz.

## Palabras clave

*caña de azúcar, conservación de forrajes, degradación in situ, valor nutricional.*

## Resumo

A cinética de degradação ruminal dos componentes nutricionais da silagem depende das mudanças bioquímicas ocorridas durante o processo de fermentação. Estas mudanças afetam a taxa de degradação e no conteúdo nutricional do material ensilado. O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito da inclusão de vinhaça na silagem de milho sobre a cinética de degradação da matéria seca (MS), proteína bruta (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y hemicelulose (HEM). A inclusão de vinhaça na silagem de milho diminuiu a fração solúvel e a degradabilidade efetiva da MS quando comparada com o tratamento controle. A extensão da degradação da PC foi favorecida pela participação da vinhaça na silagem. Não foi verificado um claro efeito da inclusão da vinhaça sobre a degradação dos componentes da parede celular do milho.

## Palavras chave

*cana de açúcar, degradação in situ, conservação de forragens, valor nutricional.*

## Introducción

El ensilaje es un importante método para preservar los forrajes destinados a la alimentación bovina. Mediante este proceso, el material ensilado se conserva con un mínimo de pérdidas de materia seca y nutrientes, manteniendo una buena palatabilidad para el ganado <sup>(1,2)</sup>. Con la fermentación natural que se da dentro del ensilaje se busca inhibir el crecimiento de microorganismos indeseables que afectan la degradación de la materia seca y el valor nutricional del material ensilado <sup>(3,4)</sup>.

La estabilidad del proceso fermentativo puede manejarse por medio del uso de aditivos acidificantes como los ácidos orgánicos, compuestos nitrogenados o melazas que pueden ser adicionados al forraje al momento de ser ensilado <sup>(5)</sup>. De acuerdo con Finguerut (2002) <sup>(6)</sup>, la vinaza de caña, esta constituida por los líquidos del fondo de la columna de destilación y una combinación

de carbohidratos no fermentados, levaduras muertas, compuestos orgánicos y sales minerales. Además, dentro de sus características, la vinaza presenta un pH ácido (pH<4) <sup>(7)</sup> que la hace apropiada para su uso como aditivo acidificante en la elaboración de ensilajes. Adicionalmente la utilización de vinaza de caña contribuye a la disminución del impacto negativo a nivel ambiental que esta genera, especialmente al recurso hídrico, ya que disminuye la luminosidad de las aguas, la actividad fotosintética, y el oxígeno disuelto <sup>(8)</sup>, contribuye al aumento de poblaciones de insectos y vectores y como resultado al desarrollo de enfermedades <sup>(9)</sup>.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la adición y de la concentración de la vinaza en el ensilaje de maíz sobre la cinética de degradación ruminal *in*

situ de la materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y hemicelulosa (HEM).

## Materiales y métodos

### Siembra y cosecha del maíz

La siembra y cosecha del maíz para ensilar se realizó en la Hacienda “El Progreso”, propiedad de la Universidad de Antioquia, ubicada en la vereda el Hatillo, del municipio de Barbosa –Antioquia, en la zona de vida (bh-PM) (bosque húmedo premontano- Holdridge <sup>(10)</sup>, a 1540 msnm, temperatura promedio de 22°C y una humedad relativa del 80%.

Cien días después de la siembra, se realizó la cosecha, el picado y el ensilado de maíz. Para el proceso de ensilaje, fueron utilizados silos de laboratorio fabricados con tubos de “PVC” de 10 cm de diámetro y 40 cm de largo, de peso conocido y un volumen de 3000 ml. El forraje picado fue mezclado con la respectiva proporción de vinaza de acuerdo al tratamiento y ensilado mediante compactación. Los silos fueron cerrados herméticamente, pesados, marcados y almacenados a temperatura ambiente hasta su apertura.

### Tratamientos

Limitada información es reportada en la literatura en lo referente a la utilización de vinaza como aditivo acidificante en la elaboración de ensilajes. Dado el origen y la similitud en la naturaleza de la vinaza con la melaza, un nivel de inclusión del 9% de vinaza fue seleccionado con el propósito de adicionar una cantidad cercana a la reportada por diferentes autores, que incluyendo hasta el 10% de melaza en los ensilajes, encontraron una disminución significativa en el pH en los ensilajes, sin incrementar las pérdidas por efluentes <sup>(11, 12, 13, 14)</sup>.

Con base en lo anterior, evaluados cuatro tratamientos, un tratamiento control que consistió en el ensilaje de maíz sin la adición de vinaza (VIN0) y tres tratamientos en los cuales el maíz fue ensilado con vinaza incluida al 9%

con respecto a la masa verde a ensilar en tres niveles de concentración (v/v): 10% (VIN10); 20% (VIN20) y 30% (VIN30). Cada tratamiento contó con tres repeticiones.

### Apertura de los silos

Los silos fueron abiertos a los 57 días después del ensilaje y el contenido de cada uno fue retirado, homogenizado y pesado. Sobre el contenido sólido de cada silo fueron realizadas las determinaciones de materia seca (MS) <sup>(15)</sup> según el procedimiento de la AOAC, fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) según Van Soest <sup>(16)</sup>, hemicelulosa (HEM) por diferencia entre FDN y FDA, proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl <sup>(17)</sup>, cenizas por incineración a 550°C por 4 horas y calcio y fósforo por valoración con EDTA <sup>(18)</sup> y fotocolorimetría <sup>(18)</sup>, respectivamente. La tabla 1 describe la composición química del maíz ensilado con vinaza en diferentes concentraciones.

**Tabla 1.** Composición nutricional del ensilaje de maíz ensilado con diferentes proporciones de vinaza.

Composición <sup>(1)</sup>	Ensilajes <sup>(2)</sup>			
	VIN0	VIN10V	IN20	VIN30
MS, %	22,0	17,0	18,3	19,2
PC, % MS	6,3	8,9	8,4	8,6
FDN, % MS	56,2	59,8	55,4	54,8
FDA, % MS	29,0	30,2	26,6	27,3
HEM, % MS	27,1	29,5	28,8	27,5
Cenizas, % MS	5,5	8,2	8,4	7,9

<sup>1</sup>MS= Materia seca; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente ácida; HEM= Hemicelulosa. <sup>2</sup> VIN0= Ensilaje de maíz sin la adición de vinaza; VIN10=Ensilaje de maíz con la adición de vinaza concentrada al 10%; VIN20=Ensilaje de maíz con la adición de vinaza concentrada al 20%; VIN30=Ensilaje de maíz con la adición de vinaza concentrada al 30%

### Degradabilidad in situ

Para determinar la cinética de degradación ruminal de los diferentes constituyentes del alimento fue utilizada la técnica descrita por Ørskov y McDonald (1979) <sup>(17)</sup>. La incubación del material experimental fue realizada en dos

vacas Holstein provistas de cánula ruminal permanente, las cuales fueron manejadas en un sistema de pastoreo rotacional con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov). Las muestras de ensilaje fueron molidas a través de criba de 2mm y se incubaron en bolsas de dacrón de 10 x 15 cm, con un tamaño de poro de 50 µm de diámetro. Los horarios de incubación fueron 6, 12, 24, 48 y 96 horas.

Después de haber retirado las bolsas del rumen estas fueron lavadas manualmente con agua corriente hasta que escurrió limpia. Las bolsas fueron colocadas en bandejas de aluminio y secados en estufa de ventilación forzada a 65°C por 72 horas. Después de este tiempo, fueron pesadas. La diferencia entre el peso inicial de la muestra colocada en las bolsas y el peso del residuo después de la incubación, descontándose el peso del saco vacío, fue utilizada para determinar el desaparecimiento de la MS en el rumen<sup>17</sup>. Sobre el residuo, después de la incubación ruminal fueron determinadas las concentraciones de FDN, FDA, HEM y PC.

#### Cálculos y análisis estadístico

Los parámetros de degradación ruminal para cada una de las fracciones del alimento fueron estimados por regresión no lineal de acuerdo con el modelo propuesto por Ørskov y McDonald (1979)<sup>(17)</sup>:

$$Y = a + b * (1 - \exp(-k * t))$$

Donde:

Y = Fracción degradada en el tiempo t de incubación.

a = Fracción soluble, expresada en porcentaje.

b = Fracción potencialmente degradable, expresada en porcentaje.

k = tasa constante de degradación de la fracción b.

t = tiempo de incubación (horas).

La degradabilidad efectiva (DE) de los ensilajes fue estimada considerando una tasa de pasaje de 5% por hora<sup>(16)</sup>, mediante la siguiente expresión matemática (Ørskov y McDonald 1979)<sup>(19)</sup>:

$$DE = a + [ (b * k) / (k + kp) ]$$

Donde:

a, b y k fueron previamente definidos.

kp = tasa de pasaje por el rumen (%/hora).

La fracción no degradable del alimento (C), fue estimada por diferencia: C = 100 – (a + b).

Los parámetros de degradación estimados para cada uno de los constituyentes del alimento fueron analizados a través de un diseño completamente aleatorizado. Las medias de tratamientos fueron comparadas mediante el test de comparación de medias de Tukey considerando un valor de p < 0,05.

Los valores de degradación de la MS, PC, FDN, FDA y HEM en cada uno de los tratamientos a través del tiempo, fueron comparados mediante un análisis de medidas repetidas en el tiempo utilizando el procedimiento PROC MIXED de SAS (2001)<sup>(20)</sup>.

## Resultados

### Parámetros de degradabilidad

Los parámetros de degradación de la MS, PC, FDN, FDA y HEM se describen en la tabla 2. Con respecto a la degradación de la MS, la inclusión de vinaza redujo la fracción soluble en los ensilajes donde la concentración de vinaza fue del 10 y 20%. A pesar de que la reducción en la fracción a, también se verificó en el tratamiento VIN30, este tratamiento se mostró equivalente al tratamiento control (p > 0,05). La fracción b de la MS se incrementó significativamente (p < 0,05) con la adición de vinaza en sus diferentes concentraciones con respecto al tratamiento control. A pesar de las diferencias en las

fracciones *a* y *b* entre los tratamientos con y sin vinaza, las tasas de degradación no se vieron alteradas. Cuando se consideró una *k* de 0,05/h, la DE del tratamiento VIN0 fue significativamente mayor (50,1%) de la registrada para los tratamientos VIN10 (42,9%), VIN20 (46,1) y VIN30 (48%).

**Tabla 2.** Parámetros de degradabilidad de los componentes nutricionales del ensilaje de maíz con diferentes concentraciones de vinaza.

<i>Parámetros<sup>1</sup></i>										
<i>Trat<sup>2</sup></i>	<i>a</i>		<i>b</i>		<i>k</i>	<i>C</i>		<i>DE</i>		<i>R<sup>2</sup></i>
	<i>Media ± DE</i>		<i>Media ± DE</i>		<i>Media ± DE</i>	<i>Media ± DE</i>		<i>Media ± DE</i>		
					<i>MS</i>					
VIN0	34,0 ± 2,3	a	32,6 ± 1,5	c	0,05	34,9 ± 1,6	ab	50,1 ± 0,3	a	98,4
VIN10	24,3 ± 1,9	b	41,7 ± 1,7	a	0,04	35,8 ± 0,9	a	42,9 ± 1,8	c	97,9
VIN20	28,1 ± 5,3	b	36,3 ± 3,3	b	0,05	33,2 ± 0,3	b	46,1 ± 1,2	b	97,6
VIN30	29,0 ± 0,4	ab	37,5 ± 0,9	b	0,05	33,5 ± 0,9	b	48,0 ± 0,2	b	98,5
					<i>PC</i>					
VIN0	45,8 ± 8,9		20,6 ± 8,1		0,05	21,6 ± 3,1	b	52,9 ± 12,3	b	57,0
VIN10	57,4 ± 5,6		16,0 ± 12,7		0,07	22,9 ± 2,9	b	66,9 ± 4,0	a	85,3
VIN20	56,6 ± 6,9		21,3 ± 4,0		0,06	22,0 ± 3,6	b	68,4 ± 3,0	a	80,2
VIN30	53,2 ± 8,3		26,1 ± 8,8		0,07	35,7 ± 5,7	a	67,8 ± 3,5	a	63,1
					<i>FDN</i>					
VIN0	4,2 ± 2,4		47,9 ± 1,9	c	0,05	44,9 ± 2,4	b	26,9 ± 1,9		99,7
VIN10	4,2 ± 1,1		52,8 ± 1,8	a	0,03	51,6 ± 1,0	a	26,0 ± 2,0		97,3
VIN20	3,7 ± 1,2		46,8 ± 0,7	c	0,52	47,3 ± 0,5	b	32,1 ± 13,8		99,5
VIN30	2,9 ± 0,1		50,3 ± 1,4	bc	0,04	48,2 ± 2,7	b	26,1 ± 1,6		99,4
					<i>FDA</i>					
VIN0	3,7 ± 0,6		42,9 ± 5,9	a	0,04	50,1 ± 6,12	b	22,2 ± 4,4	a	95,6
VIN10	3,3 ± 0,6		51,4 ± 6,3	a	0,03	70,9 ± 1,3	a	22,4 ± 0,6	a	98,3
VIN20	3,7 ± 0,6		29,3 ± 2,8	b	0,02	59,2 ± 1,62	b	12,4 ± 0,3	b	92,7
VIN30	3,0 ± 0,0		41,5 ± 1,6	a	0,03	54,4 ± 3,2	b	17,8 ± 2,7	ab	96,8
					<i>HEM</i>					
VIN0	4,0 ± 0,0		53,3 ± 2,6		0,06	39,4 ± 7,8		33,8 ± 0,5	ab	99,8
VIN10	3,7 ± 0,6		57,8 ± 7,0		0,04	34,0 ± 1,4		29,4 ± 3,8	b	97,0
VIN20	4,0 ± 0,0		56,0 ± 1,7		0,08	35,7 ± 0,9		38,5 ± 1,1	a	95,9
VIN30	3,6 ± 0,6		56,9 ± 4,3		0,06	41,7 ± 3,4		35,9 ± 1,0	a	99,4

Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos  $p \leq 0,05$

<sup>1</sup>*a*= fracción soluble (%); *b*= fracción potencialmente degradable (%); *K*= tasa constante de degradación (%/h); *C*= fracción no degradable (%); *DE*= Degradabilidad efectiva (5%/h); *MS*= materia seca (%); *PC*= proteína cruda (%; *MS*); *FDN*= fibra detergente neutra (%; *MS*); *FDA*= fibra detergente acida (%; *MS*) y *HEM* = hemicelulosa (%; *MS*). <sup>2</sup>VIN0= Ensilaje de maíz sin la adición de vinaza; VIN10=Ensilaje de maíz con la adición de vinaza concentrada al 10%; VIN20=Ensilaje de maíz con la adición de vinaza concentrada al 20%; VIN30=Ensilaje de maíz con la adición de vinaza concentrada al 30%.



Las fracciones a, b y la tasa de degradación de la PC no se vieron afectadas por los diferentes niveles de inclusión de la vinaza en los ensilajes; Sin embargo la fracción no degradable C de VIN 30 (35,7%) fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) que la presentada por VIN 0 (21,6%), VIN 10 (22,9%) y VIN 20 (22,0%). La DE calculada para VIN 0 (52,9%) fue significativamente menor que la observada en los tratamientos VIN 10, VIN 20 y VIN 30 (66,9, 68,4 y 67,8%, respectivamente).

La adición de vinaza al ensilaje no alteró la fracción soluble (a) de la FDN ( $p > 0,05$ ). Por su parte, el tratamiento con vinaza al 10% favoreció un aumento significativo en la fracción de lenta degradación (b) (52,8%), con respecto a VIN30 (50,3%), VIN0 (47,9%) y VIN20 (46,8%), semejantes entre sí.

La fracción soluble y las tasas de degradación de la FDA no presentaron diferencias entre tratamientos, sin embargo la fracción potencialmente degradable de VIN0 (42,9%), VIN10 (51,4%) y VIN30 (41,5%) fueron mayores ( $p < 0,05$ ) que la registrada para VIN 20 (29,3%). La DE de la FDA fue mayor para VIN0 y VIN10 (22,2 y 22,4%, respectivamente), mientras que VIN20 fue significativamente menor con una DE del 12,4%, sin embargo VIN30 (17,8%) presentó un valor similar con el resto de los tratamientos evaluados.

La degradación de la HEM no presentó cambios significativos en los valores correspondientes a la fracción soluble, la potencialmente degradable y la no degradable. Mientras la inclusión de vinaza al 20% aumentó la tasa de degradación de la HEM en los ensilajes (0,08%/h), la vinaza al 10% disminuyó esta tasa a 0,04%/h; los tratamientos VIN 0 y VIN 30 fueron equivalentes a VIN10 y VIN20 ( $p < 0,05$ ). La DE de la HEM fue menor para los tratamientos VIN0 y VIN10 con 33,8 y 29,4%, respectivamente. La adición de vinaza al 20 y 30% incrementó la DE de manera significativa ( $p < 0,05$ ).

### *Comportamiento de la degradabilidad a través del tiempo*

La degradabilidad *in situ* de la MS y la PC del ensilaje de maíz con diferentes concentraciones de vinaza es descrita en la tabla 3. Después de 6 horas de incubación, cuando comparamos el tratamiento control (VIN0) con los restantes tratamientos, pudo verificarse que la adición de vinaza redujo la degradación de la MS ( $p < 0,05$ ) en este horario. El efecto negativo en la degradación de la MS fue desapareciendo con el tiempo. Después de 96 horas de incubación los porcentajes de degradación de los tratamientos VIN0, VIN10 y VIN30 fueron estadísticamente equivalentes.

La presencia de vinaza en el ensilaje favoreció la degradabilidad de la PC en todos los horarios. Las degradaciones observadas en los tratamientos con vinaza fueron significativamente superiores a las registradas en el tratamiento control. Sin embargo, en el tratamiento control se observa una disminución en la degradabilidad de la proteína a las 96 h con respecto al horario precedente. Esta diferencia puede ser atribuida a un problema de pesaje. Es importante resaltar, que no hubo diferencias significativas entre las diferentes concentraciones evaluadas ( $p > 0,05$ ).

La degradabilidad *in situ* de la FDN, FDA y HEM del ensilaje de maíz con diferentes concentraciones de vinaza se describe en la tabla 4. La degradabilidad de la FDN no presentó diferencias entre los tratamientos en los horarios de las 6, 24 y 48 h; A las 96 h se observaron los mayores porcentajes de degradabilidad de la FDN para VIN10 (55,1%) y VIN30 (52,7%), el tratamiento VIN20 presentó el menor porcentaje de degradabilidad de la FDN (48,3%) ( $p < 0,05$ ).

La degradabilidad de la FDA las 48 y 96 h los tratamientos VIN0 (25,3 y 45,5%), VIN10 (31,1 y 49,9%) y VIN30 (25,9 y 40,8%) fueron significativamente mayores que VIN20 (11,2 y 29,1%). La degradabilidad de la HEM de los tratamientos VIN0, VIN10 y VIN30 presentaron los valores más altos a las 12, 24 y 48 horas. En el horario de las 96 h no hubo diferencia.

**Tabla 3.** Degradabilidad de la MS y la PC *in situ* del ensilaje de maíz con diferentes concentraciones de vinaza.

MS1, % deg	Tiempo de incubación, h				
	6	12	24	48	96
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
VIN0	41,7 ± 0,5 a	49,9 ± 0,9 a	55,9 ± 1,4 a	62,9 ± 1,1 a	66,5 ± 0,9 ab
VIN10	33,7 ± 2,1 c	39,4 ± 2,1 d	50,7 ± 1,1 b	59,7 ± 2,7 b	65,1 ± 1,6 ab
VIN20	38,0 ± 2,3 b	43,1 ± 1,7 c	54,1 ± 1,7 a	60,1 ± 0,9 b	64,1 ± 0,9 b
VIN30	38,8 ± 0,7 b	46,2 ± 2,0 b	56,2 ± 1,2 a	62,0 ± 1,2 ab	66,8 ± 0,3 a
<b>PC2, % deg</b>					
VIN0	52,2 ± 8,1 b	55,1 ± 5,4 b	63,2 ± 0,1 b	67,2 ± 5,6 b	64,3 ± 5,7 b
VIN10	65,9 ± 2,5 a	68,8 ± 1,2 a	75,8 ± 3,2 a	78,4 ± 1,2 a	78,4 ± 3,2 a
VIN20	64,1 ± 3,8 a	66,9 ± 3,7 a	73,4 ± 0,8 a	77,3 ± 3,4 a	77,1 ± 2,9 a
VIN30	63,6 ± 4,1 a	65,9 ± 5,5 a	73,4 ± 9,1 a	77,4 ± 1,5 a	77,9 ± 3,6 a

Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos  $p \leq 0,05$  <sup>1</sup>MS= porcentaje de degradabilidad de la materia seca, <sup>2</sup>PC= porcentaje de degradabilidad de la proteína cruda.

**Tabla 4.** Degradabilidad de la FDN, FDA y HEM *in situ* del ensilaje de maíz con diferentes concentraciones de vinaza.

FDN1, % deg	Tiempo de incubación, h				
	6	12	24	48	96
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
VIN0	14,5 ± 1,2	26,2 ± 3,8 a	35,0 ± 0,9	46,1 ± 1,1	51,8 ± 2,7 ab
VIN10	13,2 ± 2,9	23,2 ± 2,2 a	34,5 ± 2,6	46,8 ± 4,3	55,1 ± 2,4 a
VIN20	12,8 ± 1,2	18,1 ± 2,3 b	33,8 ± 4,3	43,2 ± 1,3	48,3 ± 1,0 b
VIN30	11,8 ± 2,8	23,5 ± 4,8 a	36,8 ± 3,7	45,4 ± 1,0	52,7 ± 0,5 a
<b>FDA2, % deg</b>					
VIN0	16,7 ± 15,3	19,2 ± 4,9	25,3 ± 2,8 a	39,3 ± 2,9 ab	45,5 ± 3,2 a
VIN10	8,1 ± 4,2	16,4 ± 6,5	31,1 ± 3,8 a	44,1 ± 1,6 a	49,9 ± 6,1 a
VIN20	13,3 ± 8,3	11,8 ± 4,7	11,2 ± 3,20 b	22,9 ± 0,9 c	29,1 ± 1,3 b
VIN30	7,9 ± 6,3	12,0 ± 7,7	25,9 ± 6,9 a	33,3 ± 1,4 b	40,8 ± 1,6 a
<b>HEM3, %deg</b>					
VIN0	20,6 ± 0,7	33,5 ± 2,6 a	45,1 ± 0,9 a	53,2 ± 0,5 a	58,3 ± 3,4
VIN10	18,2 ± 3,7	30,4 ± 10,8 ab	37,8 ± 8,8 a	49,6 ± 9,1 a	60,6 ± 7,8
VIN20	12,2 ± 5,9	23,8 ± 0,8 b	54,5 ± 4,8 b	61,9 ± 2,2 b	65,9 ± 1,4
VIN30	15,6 ± 6,7	34,7 ± 2,6 a	47,4 ± 2,8 a	57,3 ± 1,7 ab	64,3 ± 0,9

Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos  $p \leq 0,05$

<sup>1</sup>FDN= Porcentaje de degradación de la fibra detergente neutra, <sup>2</sup>FDA= Porcentaje de degradación de la fibra detergente ácida, <sup>3</sup>HEM= Porcentaje de degradación de la hemicelulosa

## Discusión

Los valores de la fracción soluble (a) de los ensilajes con vinaza (24,3- 29,0%), que corresponde a la fracción que desaparece rápidamente de la bolsa y representa la fracción que es rápida y completamente degradada en rumen, son menores que los reportados por Araiza *et al.* <sup>(21)</sup> en trabajos realizados para evaluar el efecto de la adición de desecho de manzana (ripio) y melaza, sobre la digestibilidad y degradabilidad del ensilado de maíz forrajero; ya que, los ensilajes con vinaza pueden estar presentando una menor cantidad de carbohidratos solubles que hace que disminuya la fracción soluble <sup>(22)</sup>. Además esta disminución en la fracción soluble influye directamente en la reducción de la degradabilidad efectiva de los ensilajes <sup>(23)</sup>. Petit y Tremblay <sup>(24)</sup> encontraron, en ensilajes de gramíneas una fracción soluble de la MS entre (42,8 a 52,8%). Estos valores son muy superiores a los encontrados en los ensilajes evaluados en este trabajo, tabla 2, posiblemente por un menor escape de partículas por los poros de la bolsa o por la disminución de la proteólisis y el contenido de carbohidratos solubles en la MS que se produce durante el proceso de fermentación del ensilaje <sup>(25)</sup>, debido al aporte de vinaza realizado.

Debido al bajo contenido de MS de los ensilajes con vinaza (Tabla 2), se esperaría que la fracción potencialmente degradable de la PC, disminuyera en los ensilajes con vinaza, como consecuencia de la disminución en la PC que se puede producir por la acción de las enzimas proteolíticas durante el ensilaje <sup>(26, 27)</sup>. Sin embargo los ensilajes con vinaza presentaron altos valores en la fracción potencialmente degradable de la PC, lo que implica que a pesar del aporte de humedad, la vinaza favoreció la conservación de la PC en los ensilajes y por lo tanto contribuyó un aumento importante en la disponibilidad de la proteína a nivel ruminal.

La degradabilidad de la PC alcanzó más del 50% a las 6h y alrededor del 78% a las 96 h, para los ensilajes con vinaza, lo que implica que la proteína de estos ensilajes

es altamente soluble a nivel ruminal, favoreciendo la síntesis de proteína microbiana si se complementa la dieta con la adición de alimentos concentrados que suplan las necesidades energéticas de los microorganismos <sup>(28)</sup>.

Las tasas de degradación de la FDN tan cercanas a 0,02% h<sup>-1</sup> de los ensilajes con vinaza, señalan una baja calidad en estos ensilajes que implica un mayor tiempo de permanencia en el rumen para su degradación <sup>(29)</sup>.

El tratamiento VIN10 está favoreciendo el aumento en la degradabilidad efectiva de la FDA y FDN de los ensilajes, posiblemente por un efecto de rompimiento en los enlaces de la celulosa de la planta, que finalmente favorece la degradabilidad a nivel ruminal <sup>(30)</sup>.

El comportamiento tan variable en los parámetros de degradabilidad de la HEM de todos los tratamientos, puede atribuirse a la falta de homogeneidad en la mezcla del forraje al momento del ensilaje, ya que no se observa un comportamiento definido que pueda ser atribuible al contenido de vinaza de los ensilajes evaluados.

## Conclusiones

La inclusión de vinaza de caña en la elaboración de ensilajes de maíz disminuyó la fracción soluble y la degradabilidad efectiva de la MS, debido al bajo contenido de carbohidratos solubles presentes en estos ensilajes.

La adición de vinaza de caña, en todas sus concentraciones, en el ensilaje de maíz aumentó la degradabilidad efectiva y el porcentaje de degradabilidad a través de tiempo de la proteína cruda, favoreciendo su disponibilidad para el desarrollo y crecimiento microbiano en el rumen; estos ensilajes podrían ser una buena opción para la suplementación animal si se complementan con un buen aporte energético dentro de la dieta.



## Agradecimientos

Los autores agradecen al CODI por la financiación del proyecto “Evaluación de vinaza de caña como aditivo acidificante en la elaboración de ensilajes” y a su proyecto de sostenibilidad 2011 – 2012 - Vicerrectoría de Investigaciones, Universidad de Antioquia.

## Referencias

1. De la Roza B. El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad. IV Jornadas de Alimentación Animal. Laboratorio de Mourisca de Lalín (Pontevedra). 2005; p. 1-20.
2. Viera Da Cunha.. Conservação de forragem. Pesquisador da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) e Doutorando do Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da UFRPE. 2009; p. 1-26.
3. Garcés A E, Suárez G, Ruiz S. Evaluación de la calidad bromatológica del ensilaje de pasto kikuyo y maní forrajero. Rev Lasallista de Investigación. Corporación Universitaria Lasallista 2006; 3 (2): 34-37.
4. Cañete MV, Sacha J L Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. 1998; p. 1- 260.
5. Ojeda F, Cáceres O, Matamoros E. Conservación de pastos y forrajes en zonas tropicales. In: Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos. Cuba: Estación Experimental de Pastos y Forrajes. Indio Hatuey. 1990; 54 p.
6. Finguerut J. Ethanol Production: Research and development. Ethanol 2002 International Conference on Policy, Financing and Market Development Issues. Simposio: Jornada Bioetanol Colombia. 2002, 17 p.
7. Larrahondo J. La vinaza: Caracterización de la vinaza, usos y aprovechamientos potenciales. Memorias Seminario internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar, Tecnicaña. Cali, Colombia. 2009; p. 69 – 90. [Fecha de acceso: 4 de marzo de 2013] URL: [http://www.tecnicana.org/htm/eventos/2009/fertilizacion\\_sena\\_asocana\\_nov\\_2009.pdf](http://www.tecnicana.org/htm/eventos/2009/fertilizacion_sena_asocana_nov_2009.pdf)
8. Basanta R, García M, Cervantes J, Mata H, Bustos G. Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión. Revista Ciencia y tecnología alimentaria. 2007; 5: 293-305.
9. Korndorfer G. Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo. Memorias Seminario internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar, Tecnicaña. Cali, Colombia. 2009; p. 115 –122. [Fecha de acceso: 4 de marzo de 2013] URL: [http://www.tecnicana.org/htm/eventos/2009/fertilizacion\\_sena\\_asocana\\_nov\\_2009.pdf](http://www.tecnicana.org/htm/eventos/2009/fertilizacion_sena_asocana_nov_2009.pdf)
10. Holdrige LR. Determination of world plant formations from simple climatic data. Science 1971; 105 (2): 367-368.
11. McDonald, P., N. Henderson and S. Heron. The Biochemistry of Silage. 2nd edition. Marlow, UK: Chalcombe Publications. 1991, 193 p.
12. Ely L O. In fermentation of silage –a Review (M E. Mc Cullough, ed). National Feed Ingredients Association 1978; 235-280.
13. Pratt A D, Washburn R G y Rogers C F. Ohio Agricultural Experimental Station Research Bulletin, No. 814; 1958.
14. Tobia C, Uribe L, Villalobos E, Soto H y Ferris I. Aislamiento, selección y caracterización de bacterias ácido lácticas en ensilajes de soya. Rev Agr Costarricense 2003; 27 (2): 21-27.
15. AOAC. Official Methods of Analyses of the Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) 17<sup>th</sup> edition. AOAC International Suite 400, 2200 Wilson Boulevard, Arlington Virginia USA; 2000.

16. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991; 74: 3583- 3597.
17. Ørskov FR, McDonald. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agric Sci*, 1979. Cambridge 92: 499-503.
18. Ayala LS. Manual para el laboratorio de nutrición animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de producción Agropecuaria. 2004, 30-31p.
19. Huntington JA, Givens DI. The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: a review of the procedure. *Rev Nutr. Abstr* 2007; 65: 64-93.
20. SAS. SAS Systems Software Version 8 for Windows. SAS Institute Inc., Cary, NC; 2001.
21. Araiza RE, Delgado LE, Carrete FO, Medrano RH Solis SA, Murillo OM y Haubi SC. Degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. 2013. *Avances en Investigación Agropecuaria* .17 (2): 79-96 [acceso: 03 de agosto de 2013]. URL: <http://www.ucol.mx/revia/portal/pdf/2013/mayo/7.pdf>.
22. Pulido R, Leavep JD. Degradabilidad ruminal del forraje disponible en la pradera y del aparentemente consumido por vacas lecheras. *Pesq Agropec Bras* 2000; 35(5): 1103-1109.
23. Noeck JE, Grant AL. Characterization of *in situ* nitrogen and fiber digestión and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *J Anim Sci* 1987; 64: 552.
24. Petit HW, Tremblay GF. *In situ* degradability of fresh grass and grass conserved under different harvesting methods. *J Dairy Sci* 1992; 75:774.
25. Anrique R y Viveros, MP. Efecto del ensilado sobre la composición química y degradabilidad ruminal de la pulpa de manzana. *Arch Med Vet* 2002; 2: 189-197.
26. Pulido R, Leavep JD. Degradabilidad ruminal del forraje disponible en la pradera y del aparentemente consumido por vacas lecheras. *Pesq Agropec Bras* 2000; 35(5): 1103-1109.
27. Van Vuuren AM, Taminga S, Ketelaar RS. Ruminant availability of nitrogen and carbohydrates from fresh and preserved herbage in dairy cows. *Neth. J. Afric. Sci* 1990; 38: 499.
28. Martin G, Woszczyk W, Corey J, Quesnel R. Controlling phantom image focus in a multichannel reproduction system. 107<sup>th</sup> *Convention of the Audio Engineering Society*. 1999. *Preprint no.* 4996; v. 4996, New York, USA. Audio Engineering Society.
29. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991; 74: 3583- 3597.
30. Seglar B. Fermentation Analysis and Silage Quality Testing. From the Proceedings of the Minnesota Dairy Health Conference. College of Veterinary Medicine, University of Minnesota. 2003.