

Análisis bromatológico y efecto de enzimas fibrolíticas exógenas sobre digestibilidad *in vitro* de panca de maíz

Bromatological analysis and exogenous fibrolytic enzymes effect on digestibility *in vitro* of corn stover

MVZ. Edis Macías Rodríguez Mg. Sc.

Docente Universidad Técnica de Manabí.
Portoviejo-Ecuador
emacias@utm.edu.ec

Ing. Melisa Fernández Curí Mg. Sc.

Investigadora Asociada a la Universidad
Nacional Agraria La Molina.
Docente de la Universidad Científica del Sur.
Lima- Perú
melisafernandezc@yahoo.com.mx

Dr. Carlos Alfredo Gómez Bravo PhD

Profesor Principal de la Facultad de
Zootecnia de la Universidad Nacional
Agraria La Molina. Lima- Perú
cagomez@lamolina.edu.pe

RESUMEN

La panca de maíz (PM) es un residuo de cosecha muy utilizado para la alimentación de bovinos, especialmente en época de escasez de forraje. El objetivo de este trabajo es determinar el análisis bromatológico y el efecto de enzimas fibrolíticas exógenas (EFE) sobre digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y fibra detergente neutra (DIVFDN) de PM. Se evaluaron dos tipos: *celulasas*, *xilanasas* y la mezcla de estas dos (50 % *xilanasas* + 50 % *celulasas*) con cuatro niveles, 0 (control), 2 000, 4 000 y 8 000 UI/kg.MS, en muestras obtenidas de invierno y verano. La PM tuvo 5,4 % de proteína cruda; 79,9 % de FDN; 47,1 % de FDA; 9,6 % de ceniza y 32,8 % de hemicelulosa, en promedio para las dos épocas. La DIVMS y DIVFDN, a las 48 horas, en relación a los tipos de enzimas, fueron similares, pero en relación a los niveles fueron mayores ($p < 0.01$) aquellas que se aplicaron 4 000 y 8 000 UI/kg.MS (62,3; 62,1 % y 52,7; 53,5 %, respectivamente) y por época fueron mejores en verano frente a invierno. La aplicación de enzimas sí mejora la DIVMS y DIVFDN.

Palabras clave: panca de maíz, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, *celulasas* y *xilanasas*.

ABSTRACT

The corn stover (CS) is a widely used crop residue for the feeding of the cattle, especially in times of shortage of forage. The objective was to determine the bromatological analysis and the effect of exogenous fibrolytic enzymes (EFE) on *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) and neutral detergent fiber (IVDFND) of CS. Two types of enzymes were evaluated: *cellulases*, *xylanases*, the mixture of these two (50% *cellulases* + 50 % *xylanase*) with four levels, 0 (control), 2 000, 4 000 and 8 000 IU / kg.DM, in samples collected in winter and summer. The CS was 5,4% crude protein; 79,9% NDF; 47,1% of ADF; 9,6% ash and 32,8% hemicellulose as an average for both seasons. IVDMD and IVNDFD at 48 hours, in relation to the types of enzymes were similar, but in relation to the levels were higher ($p < 0.01$) than those applied 4 000 to 8 000 IU/kg.DM (62,3; 62,1% and 52,7; 53,5, respectively) and by season they were better in summer than winter. The application of enzymes, does improve IVDMD and IVNDFD.

Key words: corn stover, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, *cellulases* and *xylanases*.



Recibido: 1 de abril, 2014
Aceptado: 18 de mayo, 2015

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del maíz produce gran cantidad de biomasa, de la cual el hombre cosecha cerca del 50 % en forma de grano, porque el restante corresponde a residuos agrícolas tales como caña, hoja, limbos, tuza, entre otros. Los residuos se calculan en aproximadamente unas 20 a 35 toneladas por hectárea de cultivo (Monterola *et al.*, 1999). En el Perú, para el año 2012, se cultivaron aproximadamente 506 mil hectáreas de maíz que equivalen a tener disponibilidad de 10 millones de toneladas métricas de panca de maíz, contribuyendo con las necesidades de fibra para la ganadería bovina, especialmente de la costa peruana (MINAGRI, 2013).

El uso en algunos trabajos de Enzimas Fibrolíticas Exógenas (EFE) reporta un incremento en la digestibilidad de forrajes y subproductos fibrosos que consumen los rumiantes (Beauchemin *et al.*, 2003; Meale *et al.*, 2013; Adesogan *et al.*, 2014). Las EFE presentan dos mecanismos de acción: hidrólisis de un alimento que resulta en liberación de los hidratos de carbono solubles que pueden mejorar la palatabilidad, y modificación de las fibras mediante la reducción de sus barreras estructurales que dificultan su digestión (McAllister *et al.*, 2001; Colombatto *et al.*, 2003). Recientes investigaciones *in vitro* e *in vivo* indican una mayor producción lechera, ganancia de peso, eficiencia en conversión alimenticia (Holtshouse *et al.*, 2011) y reducción de gases de efecto invernadero por cada kilogramo de leche o carne (Flachowsky, 2011; Mendoza, *et al.*, 2014) al suministrar EFE en la dieta. Sin embargo, también existen resultados inconsistentes, sobre todo al evaluar alimentos con alto contenido fibroso (Sutton *et al.*, 2003; Beauchemin y Holtshausen, 2010; Adesogan *et al.*, 2014).

La crisis económica que atraviesa el sector agropecuario del Perú, motiva la búsqueda permanente de nuevas alternativas de producción, haciendo énfasis en la utilización de subproductos agrícolas. La panca de maíz, entre otros forrajes, es una fuente alimenticia

no convencional de alta disponibilidad en la alimentación para rumiantes. Además, por cultura de manejo, los ganaderos utilizan los residuos de cosecha como fuente forrajera para el aporte de fibra necesaria en vacunos, en época de escasez o sequías, convirtiéndose en parte de la solución del problema de alimentación animal (FAO, 2010).

En Perú existe una baja disponibilidad de forraje para la época de invierno, especialmente en la costa peruana, por lo que se recurre a residuos de cosecha con limitada calidad de fibra, teniendo como consecuencia la baja productividad en la ganadería lechera (Gómez *et al.*, 2013). Otra problemática es que la agricultura genera miles de toneladas de equivalente (eq) a CO₂ al ambiente, durante la quema de los residuos de cosechas, contribuyendo a la contaminación. El país, según la actualización del inventario nacional de gases de efecto invernadero, en el año 2010 generó 147 mil toneladas métricas (TM) de eq CO₂, de las cuales 56 mil TM eq CO₂ corresponden a la agricultura (MINAM, 2014). Este trabajo tiene como propósito evaluar la composición química y efecto de enzimas fibrolíticas exógenas (*celulasas* y *xilanasas*) sobre la digestibilidad *in vitro* de panca de maíz, lo cual ayudaría a la mejor utilización de la fibra de los residuos de cosecha como fuente de alimentación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, de Lima (Perú). El proceso de análisis tuvo una duración de cinco meses y se cumplió atendiendo los siguientes parámetros.

a. Caracterización del análisis bromatológico de la panca de maíz

La panca de maíz fue recolectada de varias zonas ganaderas en las jurisdicciones de Trujillo, Lima, Lurín y Cañete, en el Litoral del Perú, entre las épocas de invierno (junio - julio) y verano (enero-febrero). Fue secada y molida con un tamiz de 1 mm de diámetro, utilizando molino de cuchillas de acero marca Willy.

Los parámetros a evaluar fueron:

- Proteína cruda (%)
- Fibra detergente neutra (%)
- Fibra detergente ácida (%)
- Cenizas (%)
- Hemicelulosa (%)

Las técnicas utilizadas son acreditadas por la AOAC 2005

- *Determinación de proteína cruda:* mediante la técnica de micro-kjeldahl por la destilación de la cantidad de N y luego multiplicado por la constante 6,25.
- *Determinación de la fibra detergente neutra:* mediante la digestión de la pared celular con una solución detergente neutra durante una hora a 100 °C, para luego filtrarla y someterla al secado durante 12 horas a 105 °C.
- *Determinación de la fibra detergente ácida:* mediante la digestión con una solución detergente ácida durante una hora a 100 °C, luego filtrarla y secarla a 12 horas en una estufa a 105 °C.
- *Determinación de cenizas:* Se utiliza una mufla para quemar la materia orgánica a 700 °C durante 12 horas en crisoles de porcelana.
- *Determinación de la hemicelulosa:* mediante la diferencia entre fibra detergente neutra y fibra detergente ácida.

b. Evaluación del efecto de enzimas fibrolíticas exógenas

El procedimiento para determinar la digestibilidad *in vitro* fue la de Tilley y Terry modificado por Goering y Van Soest (1970) tanto para la materia seca (DIVMS) cuanto para la fibra detergente neutra (DIVFDN), utilizando licor ruminal de tres ovinos fistulados e incubando a 24 y 48 horas.

c. Enzimas Fibrolíticas Exógenas (EFE) evaluadas

Las EFE que se evaluaron fueron: *celulasas*, *xilanasas* y una mezcla de las dos (50 %

xilanasas+50 % *celulasas*) denominada mixta, procedente de los laboratorios "Dyadic International" Florida, USA. Antes de aplicar EFE, se realizó la evaluación de la actividad enzimática para calcular la cantidad de enzimas que se suministró directamente a la panca de maíz, una hora antes de la incubación.

Prueba de actividad enzimática: la actividad de la *xilanasas* y *celulasas* se basa en la hidrólisis del sustrato (xilano de madera o de carboxil metil celulosa - CMC) para convertirla en azúcares reductores (xilosa o glucosa) y se expresa en unidades internacionales (UI). Una UI es igual a: μ moles de azúcares reductores producida por unidad de tiempo (minutos) en un volumen determinado (ml) (Beauchemin *et al.*, 2002).

La actividad de las *celulasas* se determinó usando como sustrato carboxilmetil celulosa (Sigma Chemical Co. St. Louis, MO) (Wood y Bhat, 1998), mientras que para las *xilanasas* se utilizó xilano de madera (Sigma Chemical Co.) como sustrato puro, con 10 mg/mL en 0,1 M de buffer citrato de fosfato a 39°C y pH 6,6, (Bailey *et al.*, 1992). Los resultados de la actividad enzimática para *celulasas* fue 566 UI/mL y *xilanasas* 635 UI/mL.

d. Niveles de enzimas utilizados

- A.- 0 (control) UI/Kg MS
- B.- 2000 UI/Kg MS
- C.- 4000 UI/Kg MS
- D.- 8000 UI/Kg MS

La aplicación de la enzima, en forma líquida, se realizó directamente sobre la panca de maíz una hora antes de la incubación, con la ayuda de una micropipeta. Para calcular la cantidad de enzima que se necesita, de acuerdo a la actividad reportada anteriormente, se prepararon las siguientes diluciones (1:1 000, 1 500 y 1:250) con buffer citrato de fosfato. Considerando que una dilución de 1:1 000 tiene una actividad enzimática de 0,566 UI en 1 ml, y que la dosis fue 2 000, 4 000 y 8 000 UI para un kg MS, corresponde aplicar 3 533,57 ml.

Para 0,5 g de MS, la cantidad de enzimas fibrolíticas exógenas que se aplicó fue la siguiente:

Celulasas=

- 2 000 UI/Kg MS, en una dilución de 1:1 000 se aplicó 1,767 ml
- 4 000 UI/Kg MS, en una dilución de 1:500 se aplicó 1,767 ml
- 8 000 UI/Kg MS, en una dilución de 1:250 se aplicó 1,767 ml

Xilanasas=

- 2 000 UI/Kg MS, en una dilución de 1:1 000 se aplicó 1,575 ml
- 4 000 UI/Kg MS, en una dilución de 1:500 se aplicó 1,575 ml
- 8 000 UI/Kg MS, en una dilución de 1:250 se aplicó 1,575 ml

Mixtas (50 % celulasas + 50 % xilanasas) =

- 2 000 UI/Kg MS, en una dilución de 1:1 000 se aplicó 0,884 ml. (*celulasas*); 0,788 ml (*xilanasas*)
- 4 000 UI/Kg MS, en una dilución de 1:500 se aplicó 0,884 ml. (*celulasas*); 0,788 ml (*xilanasas*)
- 8 000 UI/Kg MS, en una dilución de 1:250 se aplicó 0,884 ml. (*celulasas*); 0,788 ml (*xilanasas*)

e. Diseño experimental

Para la DIVMS y la DIVFDN se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x4x2: Tipos de enzimas (*celulasas*, *xilanasas* o mixta) x Niveles de enzimas (0, 2 000, 4 000 y 8 000 UI/kg.MS) y Época del año (invierno y verano) con tres repeticiones experimentales, analizadas por separado a 24 y 48 horas de incubación. La prueba de significancia (<0,05) fue de Tukey. El análisis se realizó mediante el uso del PROC GLM (SAS Institute, 2001).

Análisis estadístico.

El modelo aditivo lineal será:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + N_j + E_k + (T*N)_{ij} + (T*E)_{ik} + (N*E)_{jk} + (T*N*E)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

- Y = observaciones para las variables dependientes,
- μ = media de todas las observaciones,
- T_i = (1, 2, 3) efecto del i-ésimo Tipo de enzimas,
- N_j = (1, 2, 3, 4) efecto del j-ésima Nivel de enzimas /tipo de enzimas
- E_k = (1, 2,) efecto del k-ésima Época del año/ Niveles de enzimas/Tipos de enzimas
- ϵ_{ijkl} = (1,2,3) Replica/ Época del año/Tipo de enzimas/Niveles de enzimas experimental.

RESULTADOS

Análisis bromatológico

Los resultados para el análisis bromatológico de la panca de maíz, en promedio con las dos épocas del año evaluadas (invierno y verano), reportó un nivel de proteína cruda (PC) de 5,4 %, valor muy bajo que no reúne los requerimientos mínimos para que la flora bacteriana cumpla sus funciones. Según NRC (2001) los requerimientos de PC en una vaca, seca en el alimento, como mínimo debe tener 9 %, caso contrario la flora microbiana se deprime por no tener fuente de nitrógeno para su normal funcionamiento en la síntesis de enzimas fibrolíticas y aminoácidos. El nivel de fibra detergente neutra (FDN) fue 79,9 % y fibra detergente ácida (FDA) 47,1 %. Adicionalmente, la proporción de ceniza se encontró en un 9,6 %, y la proporción de hemicelulosa, donde su mayor componente es el xilano, fue de 32,8 % (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis bromatológico de la panca de maíz en promedio de las dos épocas del año (invierno y verano), expresado en base seca.

Proteína Cruda (%)	FDN %	FDA %	Cenizas (%)	Hemicelulosa (%)
5,4	79,9	47,1	9,6	32,8

Fuente: Laboratorios LENA, 2012
FDN= Fibra detergente neutra; FDA= Fibra detergente ácida.

Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS %) y de la fibra detergente neutra (DIVFDN %)

Tiempo de incubación 24 horas

La panca de maíz mostró una favorable DIVMS cuando se le aplicaron enzimas fibrolíticas exógenas, por lo que los tres tipos enzimas actuaron igual, siendo mejor numéricamente las *xilanasas* con 47,9 %, debido a su alto contenido de xilano en la fracción de hemicelulosa.

En cuanto a los niveles de enzimas, el mejor fue 8 000 UI/Kg MS con una DIVMS de 49,3%, existiendo una diferencia estadística con los demás niveles (p<.0001), respecto al control (Ver Tabla 2). Para las épocas del año que fueron cosechadas las pancas, existió diferencia

estadística entre invierno y verano, siendo la panca de maíz con mayor DIVMS la de verano frente a la de invierno (49,6 % vs 45,2%) (p<.0001).

La DIVFDN de la panca de maíz tuvo semejante comportamiento que la DIVMS. No existió diferencia estadística entre los tipos de enzimas, pero numéricamente la mejor fue *xilanasas* con 34,7 %. En cuanto a los niveles de enzimas, existió diferencia significativa, siendo el mayor nivel 8 000 UI/Kg MS y fue 36,5 % (p<.0001). En cuanto a las épocas del año en que fueron recolectadas las pancas de maíz también existió diferencia estadísticamente significativa, resultando una mayor DIVFDN en la época de verano con 37,5 % frente a 30,7 % de invierno (Ver Tabla 2 y Gráfico 1).

Tabla 2. Digestibilidad in vitro en porcentaje de la panca de maíz incubada en 24 horas.

	TIPOS DE ENZIMAS (T.E.)			NIVELES DE ENZIMAS (N.E.)				ÉPOCAS (EP.)	
	<i>Celulasas</i>	<i>Xilanasas</i>	<i>Mixtas</i>	0 UI/Kg MS	2000 UI/Kg MS	4000 UI/Kg MS	8000 UI/Kg MS	Invierno	Verano
DIVMS	47,5 ^a ± 4,6	47,9 ^a ± 3,3	46,6 ^a ± 2,2	45,3 ^c ± 3,8	47,6 ^b ± 2,2	47,5 ^b ± 4,1	49,3 ^a ± 2,6	45,2 ^b ± 3,2	49,6 ^a ± 2,2
	p= 0,0721 ns			p= <.0001 **				p= <.0001 **	
DIVFDN	34,2 ^a ± 6,2	34,7 ^a ± 4,7	33,4 ^a ± 3,3	31,5 ^c ± 5,4	34,3 ^b ± 3,2	34,2 ^b ± 5,6	36,5 ^a ± 3,6	30,7 ^b ± 4,1	37,5 ^a ± 2,7
	p= 0,077 ns			p= <.0001 **				p= <.0001 **	
<i>p- value de las interacciones entre (T.E)x(N.E)x (E.P)</i>									
	EEM ₁	(T.E.) x (N.E.)		(T.E.) x (EP.)		(N.E.) x (EP.)		(T.E.) x (N.E.) x (EP.)	
DIVMS	0,412	0,001 **		0,0302 *		0,0013 **		<.0001 **	
DIVFDN	0,567	0,001 **		0,03023 *		0,0011 **		<.0001 **	

Fuente: Laboratorios LENA. 2013

¹. Error estándar de la media. El número de observaciones usadas fue n=72; DIVMS= Digestibilidad in vitro de la materia seca; DIVFDN= Digestibilidad in vitro de la fibra detergente neutra. Letras diferentes existe diferencias estadísticas (<0.05).

Gráfico 1. Digestibilidad in vitro en porcentaje de la panca de maíz a las 24 horas de incubación.



Fuente: Laboratorios LENA. 2013

Tiempo de incubación a 48 horas

Los resultados de DIVMS de la panca de maíz a 48 horas se detallan en la Tabla 3, donde se indica que los tres tipos de enzimas actuaron de forma semejante y los mejores niveles de enzima fueron 4 000 y 8 000 UI/Kg.MS, con una DIVMS de 62,3 y 62,1 %, respectivamente ($p < .0001$). Existió diferencia significativa entre las épocas, siendo mayor la DIVMS de panca de maíz recolectada en verano frente a la recogida en invierno (61,2 vs 58,4 % respectivamente). De igual manera en la Tabla 3, los resultados indican que la DIVFDN sigue la misma tendencia

que la DIVMS, es decir la digestibilidad mejora cuando se aplica EFE, especialmente en los niveles de enzimas. En los niveles 4 000 y 8 000 UI/Kg MS fueron mayores con 52,7 y 52,5 % respectivamente ($p < .0001$) (ver Gráfico 2). En relación a las épocas, existe diferencia estadística en verano frente al invierno, siendo mejor el primero (51,9 contra 47,4 %) ($p < .0001$). Los resultados también indican que hubo interacción con diferencia significativa entre el tipo de enzimas, por los niveles de enzimas y por la época del año que fue recolectada la panca de maíz, tanto para la DIVMS como para la DIVFDN, a 24 y 48 horas ($p < .0001$) (Ver Tablas 2 y 3).

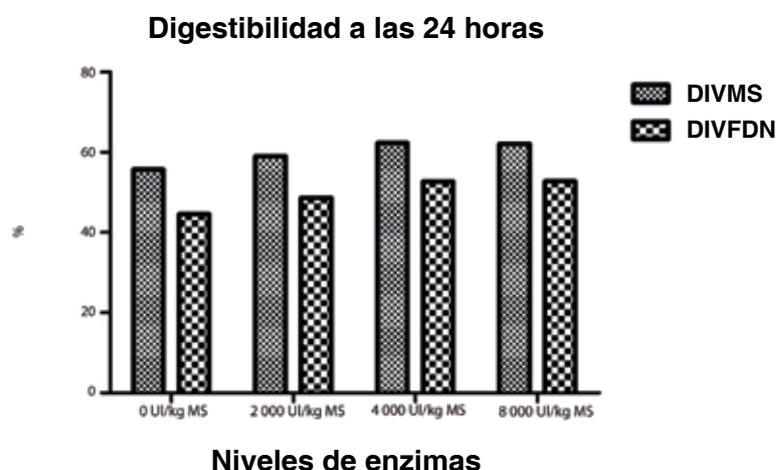
Tabla 3. Digestibilidad *in vitro* en porcentaje de la panca de maíz incubada a 48 horas.

	TIPOS DE ENZIMAS (T.E.)			NIVELES DE ENZIMAS (N.E.)				EPOCAS (EP.)	
	Celulasas	Xilanasas	Mixtas	0 UI/Kg MS	2000 UI/Kg MS	4000 UI/Kg MS	8000 UI/Kg MS	Invierno	Verano
DIVMS	59,2 ^a ± 4,1	60,2 ^a ± 4,1	59,9 ^a ± 3,2	55,7 ^c ± 1,7	59,0 ^b ± 3,6	62,3 ^a ± 2,0	62,1 ^a ± 3,2	58,4 ^b ± 3,1	61,2 ^a ± 3,9
	p= 0,0722 ns			p= <.0001 **				p= <.0001 **	
DIVFDN	48,9 ^a ± 5,5	50,2 ^a ± 5,3	49,8 ^a ± 4,0	44,6 ^c ± 2,0	48,7 ^b ± 5,0	52,7 ^a ± 2,8	52,5 ^a ± 4,3	47,4 ^b ± 3,9	51,9 ^a ± 4,9
	p= 0,0716 ns			p= <.0001 **				p= <.0001 **	
<i>p- value de las Interacciones entre (T.E)x(N.E)x (E.P)</i>									
	EEM ₁	(T.E.) x (N.E.)		(T.E.) x (EP.)		(N.E.) x (EP.)		(T.E.) x (N.E.) x (EP.)	
DIVMS	0,447	0,6254 NS		0,0011 **		<.0001 **		0,0011 **	
DIVFDN	0,583	0,6209 NS		0,0011 **		<.0001 **		0,0010 **	

Fuente: Laboratorios LENA. 2013

¹. Error estándar de la media. El número de observaciones usadas fue $n=72$; DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de la Materia seca; DIVFDN= Digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutra. Letras diferentes existe diferencias estadísticas ($<.05$).

Gráfico 2. Digestibilidad *in vitro* en porcentaje de la panca de maíz a las 48 horas de incubación.



Fuente: Laboratorios LENA. 2013

DISCUSIÓN

La panca de maíz es un residuo de cosecha con bajo contenido de proteína cruda. En un trabajo realizado por Yesca *et al.* (2004) encontraron 6,3 % de proteína cruda, un poco mayor en comparación que este trabajo; en cambio, Gómez *et al.* (2013) reportaron 5,1 % casi similar a lo encontrado en esta investigación. Para la FDN y FDA se encontró valores un poco variables como Díaz *et al.* (2013) y Yesca *et al.* (2004), quienes indicaron 85,6 y 45,6 %; 69,2 y 48 %, respectivamente.

Con respecto al efecto de la aplicación de Enzimas Fibrolíticas Exógenas, a las 24 horas de incubación, los resultados concuerdan con los de Eun y Beauchemin (2007) quienes también encontraron mayor DIVMS al aplicar celulasas a niveles 690, 1 030 y 1 370 UI/kg.MS sobre ensilaje de maíz.

Similar situación mostró Holshausen *et al.* (2011) quienes reportaron mayores ($p<0.001$) respuestas sobre el heno de alfalfa, tratado con enzimas fibrolíticas exógenas en dosis de 361, 722, 1 083 y 1 444 UI/kg MS frente al control. Pero, contrario a los hallazgos de los autores referidos, Dean (2005) no encontró diferencia estadística cuando aplicó en ensilaje de pasto bermuda en aquellas, que fueron tratadas con 0,5, 1 y 2 g de enzimas por cada kilogramo de materia seca frente al control. Igualmente Eun *et al.* (2007), al aplicar Enzimas Fibrolíticas Exógenas sobre ensilaje de maíz no encontraron diferencia estadística debido a las dosis más bajas que las aplicadas en este trabajo (224 y 336 UI/kg MS).

Para la DIVFDN, a las 24 horas de incubación, otros trabajos similares que aplicaron enzimas fibrolíticas exógenas sobre heno de alfalfa (Holshausen *et al.* 2011), encontraron diferencias entre los tratamientos frente al control ($p=0.01$), aunque la dosis fue un poco menor que la aplicada en esta investigación; de igual forma Eun y Beauchemin (2007) también encontraron diferencias al aplicar enzimas

fibrolíticas ($p<0.01$) sobre ensilaje de maíz con dosis un poco inferiores. Cabe indicar que estos alimentos fibrosos son de mejor calidad que los residuos de cosechas, por lo que en dosis menores actúan de forma positiva.

Tang *et al.* (2008) también aplicaron enzimas fibrolíticas exógenas sobre la panca de maíz, reportaron que la DIVMS, a las 48 horas, también presentó mayores respuestas frente al control, sin embargo existe una limitante al comparar dosis por no estar disponible información sobre la actividad enzimática.

De igual manera, Adesogan *et al.* (2014) encontró diferencia ($p<0,01$) entre los tratamientos de henolaje de pasto bermuda al que se le aplicó enzimas fibrolíticas en dosis de 0,5, 1, 2 y 3 g/kg MS. Titi y Tabbao (2004) reportaron también aumento en la DIVFDN ($p<0,01$) sobre paja de cebada y trigo. Esto hace presumir que existiría una mayor degradabilidad de la fibra total por parte de los animales en función de la dosis de enzimas aplicadas. Igualmente, Giraldo *et al.* (2008), al evaluar el ensilaje de maíz en dietas de vacas lecheras, también encontraron diferencias en la DIVFDN ($p<0.001$) frente al control, en una dosis de 65 UI/g MS. Con respecto a los resultados de la DIVMS y DIVFDN, que fueron mejores en la época de verano, se estima que la causa está en el manejo agronómico con mayores niveles de fertilización de los cultivos, lo que se refleja una mejor calidad de la fibra en el verano (30,4 % hemicelulosa en invierno frente a 35,1 % hemicelulosa en el verano).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a nivel de laboratorio indican que:

- En promedio, en las dos épocas del año el contenido de proteína cruda en la panca de maíz fue 5,4 %, mientras que la cantidad de fibra detergente neutra fue de 79,9 %. El 32 %

correspondió a hemicelulosa.

- Aplicar EFE mejora en un 6,6 % la digestibilidad *in vitro* de materia seca y 8 % la digestibilidad *in vitro* de fibra detergente neutra, a 48 horas.
- Las enzimas fibrolíticas exógenas como *celulasas*, *xilanasas* o mixtas actúan de manera semejante.
- Los niveles de enzimas fibrolíticas exógenas a 4 000 y 8 000 UI/Kg.MS, fueron mayores tanto para la digestibilidad *in vitro* de materia seca y digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutra, a las 48 horas de incubación.
- La digestibilidad *in vitro* de la materia seca y digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutra de la panca de maíz recolectada fue mejor en época de verano que en invierno ($p < .0001$) tanto en las 24 y 48 horas.

RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos comparativos con el uso de otros aditivos (amoniaco) para ver cuán factible es recomendar el uso de enzimas fibrolíticas exógenas para mejorar la digestibilidad de los componentes fibrosos de la pared celular de la panca de maíz.
- Desarrollar ensayos a nivel del comportamiento de la degradabilidad *in situ* y digestibilidad *in vivo* en rumiantes, mediante el uso de enzimas fibrolíticas exógenas sobre panca de maíz.
- Realizar un estudio económico y de la eficiencia de la productividad animal en relación a la producción de gas metano, como estrategia para reducir el efecto invernadero generado por las ganaderías que utilizan residuos de cosecha (panca de maíz) como fuente de fibra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adesogan, A. T.; Ma, Z. X.; Romero, J. J. and Arriola, K. G. (2014). Ruminant nutrition symposium: Improving cell wall digestion and animal performance with fibrolytic enzymes. *J. Anim. Sci.* 92: 1317-1330.

Association of Official Agriculture Chemist (AOAC). (2005). Official Methods of Analysis. Washington D.C. 125 p.

Bailey, M. J.; Biely, P. and Poutanen, K. (1992). Interlaboratory testing of methods for assay of xylanase activity. *J. Biotech.* 23: 257-270.

Beauchemin, K. A.; Rode, L. y Sewalt, J. (2002). Patente de aditivos enzimáticos para piensos de rumiantes. Oficina Española de Patentes y Marcas.

Beauchemin, K. A.; Colombatto, D.; Morgavi, D. P.; and Yang, W. Z. (2003). Use of Exogenous Fibrolytic Enzymes to Improve Feed Utilization by Ruminants. *J. Animal Science.* 81:E37-E47.

Beauchemin, K. A and L. Holtshausen (2010). Developments in Enzyme Usage in Ruminants. *Enzymes in Farm Animal Nutrition* pp: 206-225. 2nd Edition. CABI Pub., Cambridge.

Colombatto, D.; Hervás, G.; Yang, W. Z. and Beauchemin, K. A. (2003). Effects of enzyme supplementation of a total mixed ration on microbial fermentation in continuous culture, maintained at high and low pH. *J. Anim. Sci.* 81: 2617-2627.

Dean, D. B.; Adesogan, A. T.; Krueger N. and Littell, R. C. (2005). Effect of fibrolytic enzymes on the fermentation characteristics, aerobic stability, and digestibility of bermudagrass silage. *J. Dairy Sci.* 88:994-1003

Díaz, A.; Carro, M. D.; Saro, C., Mateos, I.; Odongo, E. and Ranilla, M. J. (2013). In Vitro Evaluation of Commercial Fibrolytic Enzymes for Improving the Nutritive Value of Low-Quality Forages. *J. Animal Nutrition and Feed Technology.* 13: 461-474

Eun, J. S. and Beauchemin, K. A. (2007). Enhancing *in vitro* degradation of Alfalfa hay and corn silage using feed enzymes. *J. Dairy Science.* 90:2839-2851.

- Eun, J. S., K. A. Beauchemin and H. Schulze (2007).** Use of exogenous fibrolytic enzymes to enhance *in vitro* fermentation of Alfalfa hay and corn silage. *J. Dairy Sci.* 90: 1440-1451.
- Flachowsky, G. (2011).** Carbon-footprints for food of animal origin, reduction potentials and research need. *Journal of Applied Animal Research.*, vol. 39, n.º 1: 2-14.
- Food agriculture organization (FAO). (2010).** Bioenergía y seguridad alimentaria "BEFS" para el Perú. Compendio Técnico. Volumen II. Metodología. 180 p. Disponible en: www.fao.org/docrep/013/i1708s.pdf.
- Holtshausen, L.; Chung, Y. H.; Gerardo-Cuervo, H.; Oba, M. and Beauchemin, K. A. (2011).** Improved milk production efficiency in early lactation dairy cattle with dietary addition of a developmental fibrolytic enzyme additive. *J. Dairy Sci.* 94:899-907.
- Giraldo, L. A., M. L. Tejido, M. J. Ranilla and M. D. Carro (2008).** Effects on exogenous fibrolytic enzymes on *in vitro* ruminal fermentation of substrates ratios. *J. Animal Feed Science and Technology.*, 141: 306-325
- Goering, H y Van Soest P. (1970). Análisis de Fibra de Forrajes. Universidad Nacional Agraria La Molina. Programa de Forrajes. Traducción de "Forage fiber analyses" Misión agrícola de la Universidad de Carolina del Norte- USAID. Lima- Perú.
- Gómez C., Gamarra J.; Sánchez E.; Rivera R y Castellanos S. (2013).** Tratamiento físico químico de panca de maíz como estrategias para mejorar su uso durante la escasez de Forraje (Parte I). Art. Técnico. *Revista Actualidad Ganadera.* Edición 11. Año 2013. Lima- Perú. p. 8-9.
- McAllister, T. A. and Wang, Y. (2001).** A Trichoderma feed enzyme preparation enhances adhesion of *Fibrobacter succinogenes* to complex substrates but not to pure cellulose. *Proceedings of the XXV Conference on Rumen Function*, Chicago, IL. p. 33.
- Meale, S.J.; Beauchemin, K.A.; Hristov, A.N.; Chaves, A.V. and McAllister, T.A. (2013).** Board-Invited review: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve ruminant production. *J. Anim. Sci.* 92:427-442.
- Mendoza, G. D., O. Loera-Corral, F. Plata-Pérez, P. Hernández and Ramírez M (2014).** Considerations on the use of exogenous fibrolytic enzymes to improve forage utilization. *The Scientific World Journal.*, vol. 2014, Art. ID 247437, 9 p
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014).** Gases de efecto invernadero (GEI) y mitigación del cambio climático. Lima- Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2013).** Oficina de Estudios Económicos. Disponible en <http://www.minag.gob.pe/portal/herramientas/estadisticas>. Perú.
- Monterola, H.; Cerda, D.; Mira, J. (1999).** Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes. Editorial: Fundación para la Innovación Agraria. Santiago- Chile.
- National Research Council (NRC). (2001).** Requirements of Dairy Cattle. 7th Edition. Washington, D.C. USA.
- SAS Intitute. (2001).** The SAS System for Microsoft Windows, release 8.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sutton, J. D., R. H. Phipps, D. E. Beever, D. J. Humphries, G. F. Hartnell, J. L. Vicini and D. L. Hard (2003).** Effect of method of application of a fibrolytic enzyme product on digestive processes and milk production in Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.*, 86: 546-556.
- Tang, S. X.; Tayo, G. O.; Tan, Z. L.; Sun, Z. H.; Shen, L. X.; Show, C. S.; Xiao, C. S.; Ren, G. P.; Han, X. F. and Shen, S. B. (2008).** Effects of yeast culture and fibrolytic enzyme supplementation on *in vitro* fermentation characteristics of low-quality cereal straws. *J. Animal Science.* 86:1164-1172.
- Titi, H. H. and Tabbao, M .J. (2004).** Efficacy of exogenous *cellulase* on digestibility in lambs and growth of dairy calve. *J. Livestock production science.* 87: 207-214.
- Wood, T. M. and Bhat, K. M. (1998).** Methods for measuring cellulose activities. Pages 87-112 in W.A. Wood and S.T. Kellogg, eds. *Methods in enzymology*, vol. 160. Academic Press Inc., London, UK.
- Yesca, R.; Bárcena, R.; Mendoza, G. D.; Gonzáles, S. S; Cobos. M. y Ortega. M. E. (2004).** Digestibilidad *in situ* de dietas con rastrojo de maíz o paja de avena con enzimas fibrolíticas. *Agrociencia* 38: 23-31.

ANEXOS



Transporte de panca de maíz a las ganaderías bovinas.



Vacas lecheras consumiendo panca de maíz.



Sistema de digestibilidad *in vitro* a 24 y 48 horas de incubación.