



Pastos y Forrajes
ISSN: 0864-0394
ISSN: 2078-8452
tania@ihatuey.cu
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio
Hatuey"
Cuba

Valor nutritivo in vitro de la cáscara Musa paradisiaca L., pre-tratada con enzima exógena xilanasa

Cornejo-Cornejo, Richard; Azúm-González, José Luis; Gorozabel-Muñoz, Wagner; Vargas Zambrano, Plinio; Mendoza-Rivadeneira, Freddy; Macías-Barberan, Ricardo

Valor nutritivo in vitro de la cáscara Musa paradisiaca L., pre-tratada con enzima exógena xilanasa

Pastos y Forrajes, vol. 43, núm. 1, 2020

Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269163399002>

Valor nutritivo in vitro de la cáscara *Musa paradisiaca* L., pre-tratada con enzima exógena xilanasa

Richard Cornejo-Cornejo

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Ecuador

pavargas@utm.edu.ec

 <http://orcid.org/0000-0003-3064-4811>

Redalyc: [http://www.redalyc.org/articulo.oa?](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269163399002)

id=269163399002

José Luis Azúm-González

Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de

Manabí, Ecuador

 <http://orcid.org/0000-0002-1879-0202>

Wagner Gorozabel-Muñoz

Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de

Manabí, Ecuador

 <http://orcid.org/0000-0003-1414-9175>

Plinio Vargas Zambrano

Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de

Manabí, Ecuador

 <http://orcid.org/0000-0002-2152-7317>

Freddy Mendoza-Rivadeneira

Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de

Manabí, Ecuador

 <http://orcid.org/0000-0003-1457-688X>

Ricardo Macías-Barberan

Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de

Manabí, Ecuador

 <http://orcid.org/0000-0002-2857-6867>

Recepción: 03 Junio 2019

Aprobación: 18 Diciembre 2019

RESUMEN:

Objetivo: Evaluar la digestibilidad *in vitro* de la cáscara de *Musa paradisiaca* L., pre-tratada con enzima exógena xilanasa para la alimentación de rumiantes.

Materiales y Métodos: Se aplicó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones, con la utilización de enzimas fibrolíticas exógenas (xilanasa). Los tratamientos fueron: T0-Cáscara de plátano sin enzimas (Testigo), T1-Cáscara de plátano + 2 000 UI de enzima/kg de MS, T2-Cáscara de plátano + 4 000 UI de enzima/kg de MS y T3-Cáscara de plátano + 8 000 UI de enzima/kg de MS. Para el desarrollo del experimento, se prepararon 24 botellas y se utilizaron seis botellas por tratamiento. Se caracterizó la composición química del alimento. Se determinó además, la digestibilidad aparente *in vitro* de la materia seca, que se midió a las 24 y 48 h de incubación. Simultáneamente, se registró la producción de gas a diferentes tiempos 3, 6, 12, 24 y 48 h.

Resultados: La digestibilidad ruminal *in vitro*, a las 24 y 48 h, con la utilización de xilanasa presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). El mayor porcentaje de digestibilidad *in vitro* a las 24 h fue en el T2 (42,8 %), el cual se incrementó hasta las 48 h (58,2 %). En la producción de gas *in vitro*, durante las tres primeras horas, no se registraron diferencias significativas entre tratamientos, mientras que a las 6, 12, 24 y 48 h, sí hubo diferencias estadísticas entre ellos ($p < 0,01$). La máxima producción de gas se alcanzó a las 48 h, en el tratamiento T2, con valor medio de 284,29 mL/g de MS. El más bajo correspondió al T3 (229,7 mL/g de MS).

Conclusiones: La digestibilidad *in vitro* de la cáscara de *M. paradisiaca* se incrementó con la utilización de la enzima fibrolítica. A su vez, los mejores resultados se obtuvieron cuando se utilizaron 4 000 UI de enzima/kg de MS.

PALABRAS CLAVE: desarrollo rural, innovación, producción animal.

ABSTRACT:

Objective: To evaluate the *in vitro* digestibility of the *Musa paradisiaca* L., pretreated with exogenous xylanase enzyme for feeding ruminants.

Materials and Methods: A complete randomized design was applied, with for treatments and three repetitions, using exogenous fibrolytic enzymes (xylanase). The treatments were: T0-Banana peel without enzymes (Control), T1-Banana peel + 2 000 IU of enzyme/kg DM, T2-Banana peel + 4 000 IU of enzyme/kg DM and T3-Banana peel + 8 000 IU of enzyme/kg DM. For conducting the experiment, 24 bottles were prepared and six bottles per treatment were used. The chemical composition of the feedstuff was characterized. In addition, the *in vitro* dry matter apparent digestibility was determined, which was measured at 24 and 48 h of incubation. Simultaneously, the gas production was recorded at different times: 3, 6, 12, 24 and 48 h.

Results: The *in vitro* ruminal digestibility, at 24 and 48 h, with the utilization of xylanase, showed highly significant differences among treatments ($p < 0,05$). The highest *in vitro* digestibility percentage at 24 h was in T2 (42,8 %), which increased until 48 h (58,2 %). In the *in vitro* gas production, during the first three hours, no significant differences were recorded among treatments; while at 6, 12, 24 and 48 h, there were differences among them ($p < 0,01$). The maximum gas production was reached at 48 h, in treatment T2, with mean value of 284,29 mL/g DM. The lowest one corresponded to T3 (229,7 mL/g DM).

Conclusions: The *in vitro* digestibility of the *M. paradisiaca* peel increased with the utilization of the fibrolytic enzyme. In turn, the best results were obtained when 4 000 IU of enzyme/kg DM were used.

KEYWORDS: synthetic enzymes, *in vitro* gas production, ruminants.

INTRODUCCIÓN

La cáscara de plátano posee un elevado valor nutricional, principalmente desde el punto de vista energético, lo que le confiere gran potencial para su utilización en la alimentación animal. Entre sus características, se encuentra su elevado contenido de materia seca y alta concentración de carbohidratos no fibrosos (Diniz *et al.*, 2014). Según, Blasco-López *et al.* (2014), es una fuente potencial de sustancias antioxidantes y antimicrobianas, así como de metabolitos secundarios con actividad, que eliminan a los radicales libres. También contiene otros compuestos, como antocianinas (delfinidina y cianidina) y catecolaminas, carotenoides (β -caroteno, α -caroteno), xantofilas, esteroides y triterpenos (β -sitoesterol, stigmaterol, campesterol, cicloeucalenol, ciclártenos, cicloartanol 24-metileno).

Desde la década del 60 y en la actualidad, los nutricionistas trabajan en los procesos de maduración ruminal, con el propósito de alcanzar sincronización entre los metabolismos energéticos y nitrogenados en el rumen y consecuentemente, aumentar la respuesta productiva de los animales (DiLorenzo *et al.*, 2015; Mercadante *et al.*, 2015). Los subproductos con alto contenido de fibra pueden contribuir a mantener un pH ruminal normal, incrementar la digestión de forrajes fibrosos y pasturas y, por lo tanto, aumentar el consumo de materia seca de los bovinos. El efecto de los metabolitos secundarios de plantas en la digestibilidad de los alimentos es consecuencia de su acción en los microorganismos ruminales o de su interacción con el sustrato y las enzimas microbianas (van Wyngaard *et al.*, 2015).

El método de digestibilidad *in vitro* de la materia seca consiste en una simulación del ambiente ruminal, en el que se crea una atmósfera reductora, rica en dióxido de carbono y exenta de oxígeno, con los minerales y el pH requerido para albergar los microorganismos del rumen. Se realiza una incubación de los alimentos con líquido ruminal durante 48 h, con 39 °C de temperatura corporal en la vaca y después con una disolución detergente neutro durante una hora a 100 °C (Godoy-Espinoza, 2012).

Por lo general, las mejoras en la producción de rumiantes con la utilización de enzimas fibrolíticas suplementarias se atribuyen al incremento de la absorción ruminal de la fibra. Se han propuesto numerosos mecanismos potenciales, que incluyen efectos ruminales y de pre-alimentación, como hidrólisis directa,

cambios estructurales en la fibra, aumento de la fijación microbiana ruminal, estimulación de las poblaciones microbianas ruminales y sinergismo con las enzimas microbianas del rumen (Giraldo *et al.*, 2007).

Medir la digestibilidad resulta cada vez más importante, debido al avance que se ha presentado en los actuales sistemas de alimentación, en los que la disponibilidad de nutrientes a nivel ruminal se calcula sobre la base de la competencia entre la tasa de digestión y la tasa de pasaje (Espinoza-Guerra, 2016). La determinación de la producción de gas *in vitro* es de valor para el nutricionista, ya que proporciona información acerca de la cinética de fermentación del forraje consumido por los rumiantes, que depende de la velocidad de paso y de la tasa de degradación (Mould *et al.*, 2005). La tasa y el alcance de la fermentación de MS en el rumen son determinantes en los nutrientes utilizados por los rumiantes (Jancík, *et al.*, 2010).

La relevancia de la evaluación del valor nutricional del forraje contribuye de forma importante a trazar estrategias para mejorar la ingesta de proteínas y la energía de los animales de pastoreo (Cline *et al.*, 2010). La tendencia actual en la alimentación de los bovinos está basada en aprovechar los residuos agrícolas (cáscara de plátano) ricos en fibra, como suplementos alimenticios, y en obtener producciones más rentables (Gómez-Urrego *et al.*, 2014).

Recientemente, debido al creciente interés en el cambio climático, y teniendo en cuenta la contribución de la ganadería a las emisiones de gases de efecto invernadero, la producción de gas *in vitro* se ha utilizado también para estimar el metano (Yáñez-Ruiz *et al.*, 2016).

El objetivo de este estudio fue evaluar la digestibilidad *in vitro* de la cáscara de *Musa paradisiaca* L., pre-tratada con enzima exógena xilanasa para la alimentación de rumiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Este estudio se realizó en el Laboratorio de Bromatología, de la Facultad de Ciencias Veterinarias, de la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la Parroquia Lodana, cantón Santa Ana, Provincia de Manabí, Ecuador, de agosto de 2018 a mayo de 2019.

Tratamiento y diseño experimental. Se evaluaron la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y la producción de gas (PGIV) mediante un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones, con diferentes dosis de enzimas exógenas (xilanasas). Se determinaron ambas variables a las 24 y 48 h. Los tratamientos fueron los siguientes:

- T0-Cáscara de plátano sin enzima (testigo)
- T1-Cáscara de plátano + 2 000 UI de enzima/kg de MS
- T2-Cáscara de plátano + 4 000 UI de enzima/kg de MS
- T3-Cáscara de plátano + 8 000 UI de enzima/kg de MS

Procedimiento experimental

Recolección del material vegetal. La muestra de la cáscara de plátano (CP) verde, (*M. paradisiaca* variedad barraganete), se obtuvo en una instalación de producción de procesamiento de plátanos. Mediante un análisis sensorial sencillo se revisaron las características organolépticas de olor, color, textura y grado de madurez. Posteriormente, se procedió a pesar 1 kg de la muestra en una balanza analítica de precisión de 0,01 g, y luego se secó. La CP se deshidrató durante 72 h, a 60 °C, en una deshidratadora artesanal. Después se volvió a pesar para determinar el por ciento de materia seca y se molió a 2 mm de diámetro con un motor de cuchillas de acero (marca Willy IKA MF 10 Basic). La muestra molida se conservó en un frasco plástico, debidamente rotulado con las características de su contenido.

Preparación de las soluciones enzimáticas. Se utilizó fibrolítica exógena xilanasa (EC 3.2.1.4) del laboratorio comercial Dyadic Internacional Inc. (Júpiter, FL-USA). La actividad enzimática de la xilanasa se

determinó usando xilano de madera al 1% (Sigma Chemical Co. St. Louis, MO); como sustrato puro, con 10 mg/mL diluido en buffer fosfato-citrato 0,1 M con pH 6,6 a 39 °C (Bailey et al., 1992). La enzima se diluyó 1:100, y se aplicó con una micropipeta en los volúmenes que se describen a continuación, de acuerdo a las dosis evaluadas: Xilanasas, T1-2 000 UI/kg de MS, 0,5 mL de enzima + 1,5 mL de agua destilada en 0,5 g de MS por frasco, T2-4 000 UI/kg de MS, 1 mL de enzima + 1 mL de agua destilada en 0,5 g de MS por frasco, T3-8 000 UI/kg de MS, 2 mL de enzima + 0 mL de agua destilada en 0,5 g de MS por frasco.

Tratamiento de las CP con la enzima. Una vez pesada la muestra (0,5 g) en viales de vidrio transparente rotulado, se aplicó la dosis de xilana, según los tratamientos definidos. Las diferentes dosis de enzimas se diluyeron directamente con la ayuda de una micropipeta una hora antes del proceso de llenado del medio de cultivo para el inicio de la fermentación microbiana anaeróbica. Los viales se colocaron en una incubadora a 39 °C para mantener una temperatura adecuada en el momento del llenado.

Ensayos in vitro. Como inóculo microbiano, se utilizó el líquido ruminal extraído de dos bovinos canulados en el rumen, que se mezcló y filtró a través de lienzo y gaza para eliminar los residuos presentes. Se mezcló con saliva artificial (SA) en proporción de 1/4 (100 mL de licor ruminal con 400 de SA). A esta mezcla se le denominó fluido ruminal. Después se procedió a gasear con CO₂ de 10 a 20 minutos, a temperatura de 39 °C. Concluido el gaseado, se transfirió el fluido ruminal a los viales de vidrio que ya contenían sustrato (0,5 g de CP), además de la enzima aplicada por tratamientos (xilanasas) en un volumen de 50 mL, con ayuda un dosificador manual. Terminado el llenado, se procedió nuevamente a gasear con CO₂ durante 10 segundos y a sellar los viales herméticamente. Se registró el tiempo de inicio del proceso de la fermentación. Con la ayuda de un transductor de presión, se estableció la presión existente como el nivel cero, con el propósito de calcular la producción de gas in vitro a los diferentes tiempos de incubación (3, 6, 12, 24 y 48 h). Para el desarrollo del experimento, se prepararon 24 botellas (6 por tratamiento). Se utilizaron tres botellas por tratamiento para determinar la producción de gas en los tiempos indicados con anterioridad.

La digestibilidad aparente in vitro de la materia seca (DIVMS) se midió a las 24 y 48 h de incubación. Simultáneamente, se determinó la producción de gas a diferentes tiempos 3, 6, 12, 24 y 48 h, con la utilización de un transductor de presión (PSI) adaptado a una aguja número 23 (0,6 mm), modelo T443A (Bailey y Mackey, Birmingham, UK) y conectado a un dispositivo visual.

Los gases acumulados en la parte superior se retiraron con una jeringa hasta el momento en que la presión registrada en el lector llegó a cero. Los valores informados fueron en mL/g de MS del sustrato y se estimaron mediante la ecuación cuadrática propuesta por Mauricio et al. (1999):

$$G_p = 0,18 + 3,697 P_t + 0,0824 P_t^2$$

Este proceso se repitió en todos los frascos de cada caja. Después de las lecturas, se agitaron manualmente y se reubicaron en la estufa.

Determinación de la composición química. Se realizaron los análisis bromatológicos de la CP para conocer el contenido de materia seca (MS), proteína bruta (PB), cenizas (Cz) y materia orgánica (MO), según la metodología de la AOAC (2005). Se determinó el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), según la técnica de Goering & van Soest (1970).

Análisis estadístico. Los datos se analizaron a partir de un análisis de varianza. Para las comparaciones de las medias, se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Se usó el paquete estadístico PROC GLM (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química de *M. paradisiaca* se muestra en la tabla 1. La materia orgánica fue de 91,6 %. En un trabajo de Ríos-Elizalde (2014), se informa un valor de 88,6 % al estudiar la cascara de otra variedad de plátano. Este autor también encontró contenido de cenizas de 11,4 %, valor superior a los obtenidos en esta investigación.

Indicador	Media	Desviación estándar	CV, %
MO	91,6	1,76	0,05
PB	5,0	0,50	0,20
FDN	45,0	1,31	0,03
FDA	30,8	1,88	0,06
Cenizas	8,38	1,13	0,13

TABLA 1
Composición química de la cáscara de plátano en base seca (%).

La cifra de proteína bruta (4,9 %) superó a la informada por Encarnación-Montero y Salinas-Alvarado (2017), al realizar la caracterización proximal y de la fibra dietética de la harina de plátano verde (2,4 %). A su vez, en harinas de plátano papocho y pelipita, Espitia *et al.* (2013) refirieron contenido de proteína de 6,7 y 2,4 %, respectivamente. De ahí que la variación de proteína se relacione directamente con la variedad.

En este estudio, el valor de cenizas fue de 8,4 %, lo que se encuentra directamente asociado al alto contenido de minerales, como el calcio, potasio y magnesio. Según Montoya-López *et al.* (2015), esto se puede deber a la variedad de plátano que se evalúa. Este valor es inferior al obtenido por Godoy-Espinoza (2016), al analizar la composición química de la harina de plátano con urea en distintas formulaciones. Este autor encontró porcentajes de ceniza que variaron de 9,5 a 11,7 %.

En esta investigación, los contenidos de FDN y FDA fueron de 45,0 y 30,8 %, respectivamente. Valores similares obtuvieron Mosquera-Perea *et al.* (2013), cuando evaluaron los contenidos de FDN y FDA. Estos autores refirieron cifras de 46,5 y 16,5 %, respectivamente.

La digestibilidad *in vitro* es un indicador del valor nutritivo de los alimentos (Mosquera-Perea *et al.*, 2013). Al determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, a las 24 y 48 h de incubación, se encontraron diferencias entre los tratamientos (tabla 2). A las 24 h, se hallaron los mayores valores de digestibilidad en T1, T2 y T3, sin diferencias significativas entre ellos; sin embargo, difirieron de T0.

Tratamiento	Tiempo de incubación, horas	
	24	48
T0	22,9 ^b	27,2 ^c
T1	38,2 ^a	42,2 ^b
T2	42,8 ^a	58,2 ^a
T3	39,6 ^a	48,5 ^a
EE ±	2,320	3,470
Valor - P	0,0001	0,0001

TABLA 2.

Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la digestibilidad *in vitro* (%) de la MS en la cáscara de plátano.

T0-Cáscara de plátano sin enzima (Testigo), T1-Cáscara de plátano + 2 000 UI de enzima/kg de MS, T2-Cáscara de plátano + 4 000 UI de enzima/kg de MS; T3-Cáscara de plátano + 8 000 UI de enzima/kg de MS
abc: Letras distintas en la misma columna difieren significativamente (p < 0,05)

Similar comportamiento informaron Moreno *et al.* (2007), al evaluar el efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la degradación ruminal *in vitro* de dietas para vacas lecheras. Estos autores encontraron mayor

digestibilidad al aplicar la enzima (51,6 *vs* 50,3 % sin enzima). En sus resultados refieren que la enzima a 2 g/kg de MS mejoró la DIVMS en 2,5 %, con respecto a T0 (sin enzimas).

Los resultados muestran que a las 48 h, la digestibilidad fue mayor en cada uno de los tratamientos en los que se incluyeron las enzimas fibrolíticas exógenas, con respecto al testigo (T0). Los mayores valores se obtuvieron en T2 y T3, sin diferencias significativas entre ambos, pero sí con respecto al T1. Este último difirió significativamente del testigo.

Son similares estos resultados a los hallados por Win *et al.* (2015), quienes alimentaron con ensilaje de maíz a bovinos fistulados, y observaron diferencias en los diferentes tiempos que se evaluaron al utilizar enzimas fibrolíticas en la digestibilidad ruminal.

Valencia-Trujillo *et al.* (2010), al evaluar la digestibilidad *in vivo* en ovinos, mencionan que el contenido de fibra que contienen los pastos y forrajes influye en el comportamiento de la fermentación ruminal. Estos son indicadores que se deben considerar, al aplicar enzimas fibrolíticas. No obstante, Pedraza *et al.* (2003) refieren que las variaciones en la digestión se pueden atribuir al efecto de factores como la especie y el cultivar, el manejo de la planta y las condiciones edafoclimáticas.

Moreno *et al.* (2007) y Giraldo *et al.* (2007) mencionan que durante las primeras horas las enzimas presentan una mayor actividad sobre el sustrato, y estimulan la fase inicial de la digestibilidad. Estos autores mencionan que la actividad de las enzimas disminuye a medida que avanza el tiempo de fermentación.

Los valores altos de DIVMS se han asociado a la capacidad de los rumiantes para mantener niveles adecuados de producción, ya que este es un indicador de la capacidad de un alimento para aportar nutrientes a la flora ruminal (Lazo-Salas *et al.*, 2018).

En muchos casos, se considera que el contenido de lignificación en la celulosa y hemicelulosa del sustrato es uno de los factores que influyen en el tiempo de digestión del sustrato (Montenegro *et al.*, 2018). Reséndiz (2013) afirma que al aumentar la cantidad de la enzima y la fibra de la dieta se forma una barrera que sirve de protección al ataque de microorganismos, reduciendo así la digestibilidad.

En este estudio, los resultados de la producción de gas *in vitro* (PGIV), a las 3, 6, 12, 24 y 48 h, muestran que durante las tres primeras horas no se registraron diferencias significativas entre tratamientos (tabla 3), mientras que, a las 6, 12, 24 y 48 h sí hubo diferencias estadísticas entre ellos ($p < 0,01$).

Tratamiento	Tiempo de incubación, horas				
	3	6	12	24	48
T0	1,6 ± 0,35	5,4 ± 1,07 ^b	42,4 ± 1,01 ^b	125,9 ± 4,41 ^b	248,5 ± 11,04 ^{ab}
T1	5,5 ± 3,91	7,6 ± 4,19 ^b	40,7 ± 9,03 ^b	118,5 ± 5,25 ^{bc}	239,4 ± 34,78 ^{ab}
T2	2,2 ± 0,41	20,7 ± 0,68 ^a	60,7 ± 1,25 ^a	143,6 ± 4,14 ^a	284,3 ± 11,68 ^a
T3	3,6 ± 0,77	9,8 ± 0,55 ^b	14,7 ± 1,33 ^c	108,7 ± 4,34 ^c	229,7 ± 10,70 ^b
Valor - P	0,1532	0,001	0,0001	0,0001	0,0439

TABLA 3.

Producción de gas *in vitro* (mL/0,5 g de de la cáscara de plátano).

T0-Cáscara de plátano sin enzima (Testigo), T1-Cáscara de plátano + 2 000 UI de enzima/kg de MS, T2-Cáscara de plátano + 4 000 UI de enzima/kg de MS; T3-Cáscara de plátano + 8 000 UI de enzima/kg de MS

abc: Letras distintas en la columna difieren significativa

La máxima producción de gas (PG), alcanzada hasta las 48 h, se registró en el tratamiento T2, con media de 284,3 mL/g de MS. La más baja se obtuvo en el tratamiento T3 (229,7 mL/g de MS). En este período, la tasa fraccional de PG no fue significativa entre los T0 y T1, lo que se asocia a la cantidad de la enzima añadida en cada uno de estos tratamientos. Sin embargo, en los dos últimos tratamientos (T2 y T3) sí se encontraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$). No obstante, en esta investigación se observó que la concentración más alta de enzimas redujo la PG en comparación con el tratamiento control.

Los resultados de la PG *in vitro* muestran que durante las primeras seis horas se presentó un comportamiento similar en cada uno de los tratamientos (T0, T1 y T3), pero con diferencias significativas

con respecto a T2 ($p < 0,001$). A las 12 h, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,001$). La mayor PG se obtuvo en T2 y la menor, en T3. Mientras, a las 48 h no se encontraron diferencias estadísticas en T0, T1 y T2, pero sí con respecto a T4 ($p < 0,05$).

Estudios realizados por Rubanza *et al.* (2005) coinciden en que una dosis alta de enzimas produce acumulación de productos finales en la botella. Generalmente, la acumulación de estos productos de reacción disminuye la velocidad de acción de la enzima. En algunos casos, se combinan con el sitio activo de esta y forman un sistema complejo, lo que inhibe la actividad enzimática.

La mayor producción de gas se puede deber al contenido de los carbohidratos solubles, ya que la producción de ácidos grasos volátiles está determinada por la acción de los microorganismos en los metabolitos de los carbohidratos (Silva-Ruilova, 2017). Lo referido por Velázquez *et al.* (2013) corrobora esta idea, al afirmar que el volumen de gas producido y la degradación de la MS presentan una correlación positiva. Esto implica que al aumentar la degradación de MS, aumenta la producción de gas.

CONCLUSIONES

La digestibilidad *in vitro* de la cáscara de *M. paradisiaca* se incrementó con la utilización de la enzima fibrolítica. A su vez, los mejores resultados se obtuvieron cuando se utilizaron 4 000 UI de enzima/kg de MS.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

- Richard Cornejo-Cornejo. Director de la investigación.
- José Luis Azúm-González. Revisión técnica y experimentación.
- Wagner Gorozabel-Muñoz. Adaptación y revisión técnica.
- Plinio Vargas-Zambrano. Análisis, aporte estadístico y experimentación.
- Freddy Mendoza-Rivadeneira. Revisión bibliográfica y experimentación.
- Ricardo Macías-Barbera. Colaboración de análisis microbiológicos.

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos entre ellos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Edis Macías Rodríguez, PhD y a la Universidad Técnica de Manabí por el apoyo ofrecido durante el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. *Official methods of analysis*. 18th. Ed. Washington D.C.: Association of Officiating Analytical Chemists, 2005.
- Bailey, M.; Biely, P. & Poutanen, Kaisa. Interlaboratory testing of methods for assay of xylanase activity. *J. Biotech.* 23 (3):257-270, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0168-1656\(92\)90074-J](https://doi.org/10.1016/0168-1656(92)90074-J).
- Blasco-López, Gabriela & Gómez-Montaña, F. J. Propiedades funcionales del plátano (*Musa* sp). *Rev. Med. UV*. p. 23-24, 2014. https://www.uv.mx/rm/num_anteriores/revmedica_vol14_num2/articulos/propiedades.pdf.
- Cline, H. J.; Neville, B. W.; Lardy, G. P. & Caton, J. S. Influence of advancing season on dietary composition, intake, site of digestion, and microbial efficiency in beef steers grazing season-long or twice-over rotation native range

- pastures in western North Dakota. *J. Anim. Sci.* 88 (8):2812-2824, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2658>.
- DiLorenzo, N.; Rostoll, L.; Ardanaz, S.; Guevara-Ballesteros, R.; Garcia-Ascolani, M. & Ruiz-Moreno, M. Manipulación de la fermentación ruminal para mejorar la productividad en ganado bovino. *XVII Congreso Bienal AMENA*. Marianna, USA: University of Florida, North Florida Research and Education Center, 2015.
- Diniz, Thays; Granja-Salcedo, Tatiana; Oliveira, M. Z. de & Viegas, R. Uso de subproductos del banano en la alimentación animal. *RECLA*. 6:194-212, 2014. DOI: <https://doi.org/10.24188/recia.v6.n1.2014.260>.
- Encarnación-Montero, S. S. & Salinas-Alvarado, J. D. *Elaboración de harina de plátano verde (Musa paradisiaca) y su uso potencial como ingrediente alternativo para pan y pasta fresca*. Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros en Agroindustria Alimentaria en el grado académico de Licenciatura. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, 2003.
- Espinoza-Guerra, I. *Características fermentativas y nutritivas de ensilajes de forrajes tropicales con diferentes niveles de inclusión de residuos agroindustriales de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis)*. Tesis doctoral. Córdoba, España: Universidad de Córdoba, 2016.
- Espitia, P.; Pardo, Y. & Montalvo, A. Características del análisis proximal de harinas obtenidas de frutos de plátanos variedades Papocho y Pelipita (Musa ABB Simmonds). *Acta Agron.* 62 (3):189-195, 2013. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169929773002.pdf>.
- Giraldo, A.; Tejido, L.; Ranilla, María J. & Carro, María D. Effects of exogenous fibrolytic enzymes on *in vitro* ruminal fermentation of substrates with different forage:concentrate ratios. *Anim. Feed Sci. Technol.* 141 (3-4):306-325, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.013>.
- Giraldo, L. A.; Ranilla, María J.; Tejido, M. L. & Carro, María D. Influence of exogenous fibrolytic enzymes and fumarate on methane production, microbial growth and fermentation in Rusitec fermenters. *Br. J. Nutr.* 98 (4):753-761, 2007.
- Godoy-Espinoza, V. H. *Valoración de la composición química y cinética de fermentación y degradabilidad ruminal in vitro de dietas con diferentes inclusiones de harina de banano y urea*. Máster en Zootecnia y Gestión Sostenible: Ganadería Ecológica e Integrada. Córdoba, España: Universidad de Córdoba, 2012.
- Goering, H. & van Soest, P. F. *Forage fibre analysis. Apparatus, reagents, procedures and some applications*. USA: Agricultural Research Service, USDA, 1970.
- Gómez-Urrego, J. M.; Correa-Londoño, G. & Barahona-Rosales, R. Evaluación del residuo del cultivo de *Agaricus bisporus* como alimento de vacas lecheras en lactancia media. *Rev. Fac. Nac. Agron., Medellín*. 67 (2):7321-7333, 2014. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n2.44175>.
- Jancík, F.; Koukolova, Veronika & Homolka, P. Ruminal degradability of dry matter and neutral detergent fibre of grasses. *Czech J. Anim. Sci.* 55 (9):359-371, 2010.
- Lazo-Salas, G. J.; Rojas-Bourrillon, A.; Campos-Granados, C. M.; Zumbado-Ramírez, C. & López-Herrera, M. Caracterización fermentativa y nutricional de mezclas ensiladas de corona de piña con guineo cuadrado Musa (ABB) I. Parámetros fermentativos, análisis bromatológico y digestibilidad *in vitro*. *Nutrición Animal Tropical*. 12 (1):59-79, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15517/nat.v12i1.33847>.
- Mauricio, R. M.; Mould, F. L.; Dhanoa, M. S.; Owen, E.; Channa, K. S. & Theodorou, M. K. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 79 (4):321-330, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00033-4).
- Mercadante, V. R.; Waters, K. M.; Marquezini, G. H.; Henry, D. D.; Ciriaco, F. M.; Arthington, J. D. *et al.* Effects of anti-phospholipase A(2) antibody supplementation on dry matter intake feed efficiency, acute phase response, and blood differentials of steers fed forage- and grain-based diets. *J. Anim. Sci.* 93 (2):776-785, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7958>.
- Montenegro, L.; Espinoza, I.; Sánchez, A.; Barba, C.; García, A.; Requena, F. *et al.* Composición química y cinética de degradación ruminal *in vitro* del ensilado de pasto saboya (*Megathyrsus maximus*) con inclusión de residuos de frutas tropicales. *Revista Científica, FVC-LUZ*. 28 (4):306-312, 2018.

- Montoya-López, J.; Quintero-Castaño, V. D. & Lucas-Aguirre, J. C. Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agron.* 64 (1):11-21, DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n1.38814>.
- Moreno, R.; Pinos-Rodríguez, J. M.; González, S.; Álvarez, G.; García, J. C.; Mendoza, G. *et al.* Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la degradación ruminal *in vitro* de dietas para vacas lecheras. *INCI.* 32 (12):850-853, 2007.
- Mosquera-Perea, Disa E.; Martínez-Guardia, Mélida; Medina, H. H. & Hinestroza, Leidy I. Caracterización bromatológica de especies y subproductos vegetales en el trópico húmedo de Colombia. *Acta Agron.* 62 (4):326-332, 2013.
- Mould, F. L.; Morgan, R.; Kliem, E. & Krysstallidou, E. A review and simplification of the *in vitro* incubation medium. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123-124:155-172, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.05.002>.
- Pedraza, R. M.; La, O. O.; Estévez, J.; Guevara, G. & Martínez, S. Degradabilidad ruminal efectiva y digestibilidad intestinal *in vitro* del nitrógeno del follaje de leguminosas arbóreas tropicales. *Pastos y Forrajes.* 26 (3):237-241, 2003.
- Resendiz, C. V.; Hernández, O.; Guerrero, I.; Gallegos, J.; Martínez, P. A. & Sánchez, C. Engorda de corderos Pelibuey con diferente nivel de alfalfa en la dieta. *Arch. de zootec.* 62 (239):457-467, 2013.
- Rios-Elizalde, Paola E. *Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo*. Tesis de titulación previo a la obtención del grado de Ingeniera en Alimentos. Machala, Ecuador: Unidad Académica de Ciencias Química y de la Salud, UTMACH, 2014.
- Rubanza, C. D. K.; Shem, M. N.; Otsyna, R.; Bakengesa, S. S.; Ichinohe, T. & Fujihara, T. Polyphenolics and tannins effect on *in vitro* digestibility of selected *Acacia* species leaves. *Anim. Feed Sci. Technol.* 119 (1-2):129-142, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.12.004>.
- SAS. *SAS user's guide: Statistics. Version 9.3*. Cary, USA: Statistical Analysis System Institute, 2011.
- Silva-Ruilova, J. O. *Fermentación ruminal in vitro y cinética de degradación ruminal in situ de dietas a base de fruta de pan (Artocarpus altilis)*. Tesis de grado Ingeniería Agropecuaria. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- Valencia-Trujillo, Liliana; Restrepo-Paredes, J.; Cerón-Hernández, D. E. & Herrera-García, W. F. Determinación de la digestibilidad *in vivo* en ovinos utilizando dietas a base de forrajes tropicales. *RIAA.* 1 (1):25-29, 2010.
- van Wyngaard, J. D. V.; Meeske, R. & Erasmus, L. J. Effect of palm kernel expeller as supplementation on production performance of Jersey cows grazing kikuyo-ryegrass pasture. *Anim. Feed Sci. Technol.* 199:29-40, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.10.017>.
- Velásquez, R.; Noguera, R. R. & Posada, Sandra. Procesamiento del grano de maíz sobre la cinética de degradación de la materia seca *in vitro*. *Revista MVZ Córdoba.* 18 (3):3877-3885, 2013. DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.160>.
- Win, K. S.; Ueda, K. & Kondo, S. Effects of grass hay proportion in a corn silage-based diet on rumen digesta kinetics and digestibility in dairy cows. *Anim. Sci. J.* 86 (9):833-841, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/asj.12365>.
- Yáñez-Ruiz, D. R.; Bannink, A.; Dijkstra, J.; Kebreab, E.; Morgavi, D. P.; P., O'Kiely *et al.* Design, implementation and interpretation of *in vitro* batch culture experiments to assess enteric methane mitigation in ruminants—a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 216:1-18, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.016>.