



Impacto del régimen pluvial en la composición química, digestibilidad y producción de metano de *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch

Impact of rainfall regime on chemical composition, digestibility, and methane production of *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch

Medardo Antonio Díaz-Céspedes^{1,2,*} ; José Eduard Hernández-Guevara² ; Carlos Alfredo Gómez-Bravo¹ 

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s / n, La Molina, Lima, Peru.

² Universidad Nacional Agraria de la Selva, Carretera Tingo María - Huánuco km 1.21, Po Box 156 Tingo, Rupa Rupa, Leoncio Prado, Huánuco, Peru.

Received January 10, 2020. Accepted May 15, 2020.

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar la composición química, digestibilidad y la producción de metano de *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch en periodos con diferente precipitación pluvial en la región de la selva del Perú. La pastura fue manejada bajo un sistema de pastoreo rotativo. La calidad nutritiva y producción de metano *in vitro* durante ambos periodos experimentales se determinó a partir de muestras obtenidas por la técnica de zigzag y puntos de muestreo utilizando el método de muestreo destructivo sistemático. En el periodo de menor precipitación pluvial, el pasto *Echinochloa polystachya* tuvo un mayor contenido de fibra detergente neutro (FDN) ($p < 0,001$) y fibra detergente ácido (FDA) ($p < 0,001$). La materia orgánica (MO) fue mayor en el periodo de mayores precipitaciones ($p < 0,001$); sin embargo, el contenido de proteína cruda (PC) ($p = 0,11$), digestibilidad *in vitro* de MO ($p = 0,89$), producción neta de gas corregida ($p = 0,83$) y la producción *in vitro* de CH₄ ($p = 0,63$) fueron similares para ambos periodos.

Palabras clave: precipitación pluvial; pastura tropical; pasto Alemán; calidad nutritiva; metano *in vitro*; producción de gases.

Abstract

The aim in this study was to determine the chemical composition, digestibility, and methane production of *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch in periods with different rainfall in the Peruvian rainforest region. The pasture was managed under a rotational grazing system. The nutritive quality and *in vitro* CH₄ production of the pasture during both experimental periods was determined from a sample obtained by zigzag technique and sampling points using the method of destructive systematic sampling. *Echinochloa polystachya* in the period of lower than higher rainfall had a higher content of neutral detergent fiber (NDF) ($p < 0.001$) and acid detergent fiber (ADF) ($p < 0.001$). Organic material (OM) was higher in the period of greater rainfall ($p < 0.001$); however, the crude protein (PC) content ($p = 0.11$), *in vitro* digestibility of OM ($p = 0.89$), corrected net gas production ($p = 0.83$) and *in vitro* CH₄ output ($p = 0.63$) were similar for rainfall periods.

Keywords: rainfall periods; tropical pasture; German grass; nutrient quality; gas production; *in vitro* methane.

1. Introducción

En ganaderías desarrolladas en áreas tropicales, la mayor y más económica fuente de alimento para ruminantes son los forrajes, so-

bre los cuales es necesario el conocimiento cada vez más preciso de su valor alimenticio. El potencial productivo y calidad nutricional de los forrajes puede ser in-

Cite this article:

Díaz-Céspedes, M.A.; Hernández-Guevara, J.E.; Gómez-Bravo, C.A. 2020. Impacto del régimen pluvial en la composición química, digestibilidad y producción de metano de *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch. Scientia Agropecuaria 11(2): 147-155.

* Corresponding author

E-mail: medardo.diaz@unas.edu.pe (M.A. Díaz-Céspedes).

© 2020 All rights reserved

DOI: [10.17268/sci.agropecu.2020.02.01](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.01)

fluenciadas por cambios en las condiciones climáticas (Del Pozo, 2002), dentro las que destaca la precipitación pluvial. En muchas áreas tropicales es posible diferenciar periodos de abundancia o escasez de precipitación pluvial, los mismos que ejercen efectos en el crecimiento, estructura, calidad nutricional y producción forrajera, debido a su estrecha relación con factores morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que regulan procesos de gran complejidad en los pastos y que a su vez dependen de múltiples factores que están asociados al ambiente, al suelo y la especie forrajera (Baruch, 1994; Del Pozo, 2002; Valente *et al.*, 2016).

El pasto *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch., comúnmente es conocida como pasto alemán, pasto de río (Español); german grass, aleman grass (Inglés); capim-mandante, (Portugués) (Heuzé *et al.*, 2017) es una herbácea que presenta mejores respuestas agronómicas y productivas durante el periodo de mayor precipitación pluvial con relación a la época de escasez, por ser una especie que prefiere suelos más húmedos, presenta alta tolerancia a terrenos inundados, y sensible a sequías y suelos compactos (Vera, 2014; Heuzé *et al.*, 2017). En potreros bien manejados a 40 días de edad el contenido de proteína cruda (PC) varía entre 10 – 13%, materia orgánica (MO) de 89%, fibra detergente neutro (FDN) de 60 % de fibra detergente ácido (FDA) de 35% y digestibilidad entre 50 – 63% (Carriel, 2014; Vera, 2014).

Varios estudios muestran que la estacionalidad ejerce efecto directo sobre la calidad de los forrajes (Muñoz *et al.*, 2015; Merlo *et al.*, 2017; Yusuf *et al.*, 2020) y de manera indirecta sobre la emisión de metano entérico por los rumiantes (Yan *et al.*, 2010), proceso en el cual influyen diversos factores (Mirzaei y Maheri-Sis, 2015) siendo los principales el consumo de alimento y la calidad de la dieta (Jonker *et al.*, 2017). A medida que aumenta la disponibilidad, los niveles de ingesta y las emisiones totales de CH₄ por animal pueden aumentar, con una disminución concomitante en la degradación de la fibra (Mirzaei y Maheri-Sis, 2015; Khan *et al.*, 2020). Es ampliamente conocido que la digestión de la fibra influye significativamente en la emisión de CH₄ (Demarchi *et al.*, 2016) siendo el componente de principal influencia de la relación entre el tipo de carbohidrato y la tasa de fermentación, en ese sentido, Kasuya y Takahashi (2010) encontró alta correlación ($r = 0,73$; $p < 0,01$) entre la producción de metano (g/día) y el consumo de FDN (kg/d).

El metano es considerado como el gas clave para reducir las emisiones de gas de efecto

invernadero (GEI) del sistema ganadero frente al cambio climático, debido a que es el gas que más se emite alrededor del 44% de las emisiones del sector (Knapp *et al.*, 2014). Las emisiones de metano se pueden cuantificar a través de diferentes métodos (indirectos y directos). La técnica *in vitro* de producción de gases (TIVPG) ha sido utilizado durante décadas para simular la fermentación de los alimentos y en los últimos años ha sido modificada como opción inicial para la evaluación de estrategias de reducción o de inhibición de la producción de metano (Navarro-Villa *et al.*, 2011; Hatew *et al.*, 2015; Hammond *et al.*, 2016).

Dada las características de adaptación del pasto alemán y los diferentes periodos de precipitación pluvial ocurrientes en la zona, es necesario investigar a mayor detalle la influencia de tales periodos sobre la calidad nutritiva y producción de metano *in vitro* de dicho pasto, considerando que la composición química y digestibilidad de los pastos y forrajes actualmente no son suficientes para su valoración como fuente alimenticia (Navarro-Villa *et al.*, 2011; Palmonari *et al.*, 2016) de modo que, se hace necesario incorporar técnicas que proporcionen información sobre la eficiencia de utilización de sus nutrientes por parte del animal, además de cuantificar la producción de metano (CH₄) que durante la digestión ruminal se convierte en CH₄ entérico del 2% al 12% de la energía bruta consumida y cuya producción por los rumiantes contribuye aproximadamente al 6% de emisiones antropogénicas mundiales de GEI (Beauchemin *et al.*, 2020). Por lo que el propósito de este estudio fue determinar la composición química, digestibilidad y la producción de metano *in vitro* de *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch en diferentes periodos de precipitación pluvial del ecosistema de Selva Alta del Perú.

2. Materiales y métodos

2.1. Localización y condiciones climatológicas

El ensayo se realizó en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo anexo La Divisoria, Puerto Súngaro de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, que corresponde al ecosistema de Selva Alta del distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, Perú. Situado entre 09° 08' 49,40" de latitud sur y 76° 00' 33,97" de longitud oeste, con una altitud media de 628 m.s.n.m y una temperatura ambiente promedio anual de 25,9 °C, humedad relativa de 81% y 2987 mm de precipitación anual, considerado como

bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PT) (SENAMHI, 2017). El estudio se realizó durante los periodos de mayor y menor precipitación pluvial. Las condiciones meteorológicas en el lugar experimental durante el periodo de mayor y menor precipitación pluvial son mostrados en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Condiciones meteorológicas en el lugar experimental durante el periodo de mayor y menor precipitación pluvial (Media \pm EE)

Condiciones meteorológicas	Periodo de precipitación pluvial	
	Mayor (n = 54*)	Menor (n = 54*)
Precipitación (mm)	438,2	287,2
Temperatura diaria (°C)		
Mínima	20,8 \pm 0,1	19,7 \pm 0,1
Máxima	30,6 \pm 0,3	31,8 \pm 0,3
Media	25,8 \pm 0,73	26,0 \pm 0,9
Humedad Relativa (%)	94,3 \pm 0,3	94,8 \pm 0,2

FUENTE: Estación Tulumayo – SENAMHI (2017). EE =Error estándar. Mayor precipitación: 17 marzo - 10 mayo; Menor precipitación: 6 agosto - 29 septiembre. * 9 días de ocupación y 45 días de descanso.

2.2. Diseño de la investigación

Muestreo de la pastura

En ambos periodos experimentales se usó un potrero de 1,5 hectáreas dominado por pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch establecido hace 15 años, manejado por un sistema de pastoreo rotativo (9 días de ocupación y 45 días de descanso) y fertilización nitrogenada (50 kg nitrógeno/ha/ciclo de pastoreo). Las muestras de pasto fueron obtenidas utilizando el método de muestreo destructivo sistemático y la técnica de zigzag y puntos de muestreo con la ayuda de un cuadrante de 1 m por 1 m (Melgarejo, 2017). Se tomaron 10 muestras por ha por periodo experimental, con un intervalo de colecta entre periodos de 45 días. Las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C / 48 horas, molidos en un molino Willey a través de un tamiz de 1 mm y destinadas al análisis químico, digestibilidad *in vitro* y producción de metano *in vitro*.

Análisis químico y energía. El análisis químico del forraje durante ambos periodos experimentales se realizó de acuerdo con los métodos descritos por la AOAC (2006): Contenido de materia seca (MS) por desecación (AOAC 930,15), Ceniza (Cz), por incineración en seco (AOAC 942,05), Proteína cruda (PC) por el método semi microKjeldahl usando el factor N x 6,25 (AOAC 920,87). El contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se analizó de acuerdo con el método descrito por Senger et al. (2008) utilizando la tecnología Ankom (Fiber Analyzer 200, Ankom Technology

Corporation, Fairport, NY). Las muestras fueron digeridas en solución detergente en bolsas de filtro (F57-Ankom®) durante 40 minutos en una autoclave a 110 °C y 0,5 atm. La energía metabolizable (EM) se calculó a partir de la producción de gas *in vitro*, incubando 200 mg de muestra de pasto y estimando los valores correspondientes de acuerdo con la siguiente ecuación (Menke et al., 1979): $EM \text{ (MJ / kg MS)} = 2,2 + 0,136 \times \text{producción neta de gas corregida (ml / 200 mg MS)} + 0,0057 \times \text{PC (g / kg MS)} + 0,00029 \times 202 / 4,184$. La energía digestible (ED) se calculó teniendo en cuenta los contenidos de ME de acuerdo con la siguiente ecuación: $DE \text{ (Mcal por kg de MS)} = (ME + 0,45) / 1,01$.

Digestibilidad verdadera *in vitro*. La Digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia seca (DIVVMS) y la materia orgánica (DIVVMO) se analizaron de acuerdo con la metodología descrita por Senger et al. (2008), utilizando la tecnología Ankom (Daisy II® Incubator, Ankom Technology Corporation, Fairport, NY). Se utilizó 0,5 g muestras por duplicado. Se utilizaron soluciones tampón A y B (Ankom®), en una proporción de 5: 1 y un pH final de 6,8 a 39 °C. El inóculo ruminal se recogió de tres ovinos machos de la raza Junín fistuladas en el rumen, con un peso vivo promedio de 50 kg y alimentadas con forraje de pasto king grass enano (*Pennisetum purpureum* Schum cv. Mott) con 12% de proteína cruda (PC), 65% de fibra detergente neutra (FDN), 35% de fibra de detergente ácido (FDA) y DIVV de la materia orgánica (DIVVMO) del 62%. Se usó una relación promedio de solución de cultivo-inóculo ruminal de 4: 1. Las muestras se incubaron por 48 horas a una temperatura de 39,2 \pm 0,5 °C y agitación circular constante. Se realizó el lavado de fibra detergente neutra (FDN) en el digestor de fibras Ankom²⁰⁰ Fiber Analyzer (Ankom Technology Corp. Fairport, NY), utilizando la solución FDN del proveedor a 100°C durante 75 minutos y se secaron a 105°C durante 2 h en una estufa de aire forzado. La digestibilidad verdadera *in vitro* se calculó como el porcentaje de la diferencia entre la MS incubada y el residuo después del tratamiento con FDN. Para la determinación de la DIVVMO, la muestra residual se incineró en un horno de mufla a 600 °C / 8 h según el método AOAC 942,05 por incineración en seco (AOAC, 2006).

Producción neta de gases corregido (PNGC) y metano *in vitro* (PMIV). La PNGC y PMIV fueron determinados mediante la Prueba de Gas Hohenheim descrita por Menke et al. (1979). Se utilizó licor ruminal obtenido de dos toretes con fistula ruminal alimentados con una dieta completa a base

de heno de forrajes y un concentrado de granos. Así mismo, se utilizó un medio de cultivo de composición conocida a base de agua bidestilada, solución de elementos principales, solución de elementos traza y solución tampón. El medio fue reducido mediante el flujo constante de CO₂, agitación magnética y a temperatura de 39,0 °C ± 0,5 hasta que vire de un color azul a rosado, gracias al indicador resazurine. La PNGC se calculó a partir de la medición del volumen de gas producido en un período de incubación de 24 horas de 200 mg de muestra incubadas en una mezcla de licor ruminal más un medio de cultivo reducido (relación 1:2) y colocadas en jeringas de cristal de 100 ml de volumen (36 mm de diámetro externo y 200 mm de longitud) con pistones a los cuales se les agrega una película delgada de vaselina. Las jeringas son mantenidas constantemente gaseado con CO₂ agitación magnética y a una temperatura constante de 39,0 °C ± 0,5 con la ayuda de un equipo de baño maría. El volumen de gas resultante después de 24 horas de incubación se comparó con dos estándares, uno de los cuales era heno molido de una mezcla de pasto templado, y el otro estándar era un concentrado de grano, con producción conocida de gas (49,16 y 61,13 ml / 200 mg MS respectivamente). La PMIV se calculó a partir del volumen de gas recogido después del período de incubación de 24 horas. El cálculo de la producción de metano se realizó con la ayuda de un analizador de CH₄ calibrado con un estándar de concentración conocida (12,1%), equivalente a 40,0 ± 0,2 voltios.

Características de la pastura utilizada. Las características agronómicas (altura de la pastura, material verde, material senescente), fracción de forraje y la relación hoja/tallo (Tabla 2) fueron registrados según Melgarejo (2017) y sirvieron como fuente para la interpretación del efecto directo de la estacionalidad sobre la estructura, calidad nutritiva (composición química y digestibilidad) del forraje y por ende en la producción de metano *in vitro*.

La altura de planta se determinó realizando anotaciones sobre la altura de cinco plantas seleccionadas al azar cuidando que cubran adecuadamente la variabilidad, dentro del marco en cada punto de corte o núcleo, haciendo un total de 50 anotaciones/ha/día. La altura se midió en centímetros desde el suelo hasta el punto más alto de la planta, sin estirla y sin contar la inflorescencia. El material verde, senescente, fracciones del forraje y su relación fue determinada a partir de las submuestras obtenidas con el método destructivo o de corte. Se realizó la

separación manual y pesaje individual por especies y partes para poder realizar una clasificación de la pastura en términos de sus principales componentes tales como: material vegetativo (material verde y senescente), tallo, hoja e inflorescencia. Para poder expresar en base seca los diferentes componentes, el material vegetativo y la relación entre hojas y tallos, estas fracciones fueron pre-secadas en estufa a 60 °C durante 48 h y luego ajustados por su contenido de materia seca (AOAC, 2006, método 930,15).

Tabla 2

Características agronómicas, fracciones del pasto alemán durante el periodo de mayor y menor precipitación pluvial (Media ± EE)

	Periodo de precipitación pluvial		p
	Mayor	Menor	
Características agronómicas			
- Altura de la pastura (cm)	68,3 ± 3,3	30,6 ± 2,1	<0,001
- Material verde	82,6 ± 0,8	65,4 ± 2,8	0,003
- Material senescente	17,7 ± 0,8	34,6 ± 2,8	0,003
Fracciones del forraje (%)			
- Hoja	36,3 ± 1,8	44,5 ± 2,2	0,001
- Tallo	63,7 ± 1,8	55,5 ± 2,2	0,28
Relación hoja /tallo (MS)	0,58 ± 0,04	0,83 ± 0,07	0,01

EE, error estándar.

2.3. Análisis estadístico

Se usó la prueba t para muestras independientes para determinar diferencias entre ambos periodos de precipitación pluvial del año (mayor y menor). Se verificó la normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilks modificada y la homocedasticidad mediante la prueba F de igualdad de varianzas. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

3. Resultados y discusión

2.4. Calidad nutritiva

Composición química y energía

La composición química del pasto difiere entre los dos periodos de estudio (Tabla 3). El periodo de menor precipitación pluvial presentó mayores contenidos de FDN ($p < 0,001$), FDA ($p < 0,001$) que el periodo de mayor precipitación. Mientras que, el contenido de MO fue mayor en el periodo de mayor precipitación ($p < 0,001$). Sin embargo, el contenido de MS ($p = 0,06$), PC ($p = 0,11$), ED ($p = 0,98$) y EM ($p = 0,98$) no fueron diferentes en ambos periodos.

El régimen de las precipitaciones (volumen de las lluvias y su distribución) a través del año ejercen efectos notables en la calidad nutricional (Valente *et al.*, 2016; Yusuf *et al.*, 2020), crecimiento, estructura (Baruch, 1994; Del Pozo, 2002), debido a su estrecha

relación con factores morfológicos, bioquímicos y fisiológicos que regulan procesos de gran complejidad en los pastos (Del Pozo, 2002).

Cuando el contenido de material verde y la relación hoja: tallo se reducen, generan incremento en la fracción de tallos y material senescente, disminuyendo la calidad nutritiva (composición química y digestibilidad) del forraje disponible (Valente *et al.*, 2016; Montenegro *et al.*, 2018).

El similar contenido de materia seca en ambos periodos puede explicarse debido al aumento de la proporción de tallos (menor relación hoja/tallo) que genera mayor contenido de MS en el periodo de mayor precipitación, mientras que durante el periodo de menor precipitación se debería a una mayor acumulación de material senescente (Tabla 2). El contenido de MS fue superior al reportado por Carriel (2014) de 20,12% y concuerda con lo referido por Lalman (2017) quien considera que el contenido óptimo de MS en los forrajes debe de estar alrededor del 25%.

Tabla 3

Composición química y energía del pasto alemán durante el periodo de mayor y menor precipitación pluvial (Media \pm EE)

	Periodo de precipitación pluvial		p
	Mayor	Menor	
Composición química (g/kg MS)			
MS	253 \pm 0,8	274 \pm 0,6	0,06
MO	906 \pm 3,2	877 \pm 1,1	<0,001
PC	79,8 \pm 1,9	87,6 \pm 4,1	0,11
FDN	657 \pm 3,1	680 \pm 3,2	<0,001
FDA	348 \pm 2,0	361 \pm 2,3	<0,001
Energía (Mj/kg MS)			
ED	9,4 \pm 0,2	9,4 \pm 0,3	0,98
EM	7,6 \pm 0,2	7,6 \pm 0,3	0,98
Relación EM/ED ratio	0,8	0,8	-

MS, materia seca; MO, materia orgánica; PC, proteína cruda; FDN, fibra detergente neutra; FDA, fibra detergente ácida; ED, energía digestible; EM, energía metabolizable; EE, error estándar.

El bajo contenido de MO observado en la pastura durante el periodo de menor precipitación pluvial se debería a una mayor acumulación de material senescente (Tabla 2), que genera un mayor contenido de cenizas producto de la mayor acumulación de material lignocelulolítico rico en silicatos (Van Soest *et al.*, 1991; Del Pozo, 2002; Valente *et al.*, 2016). El contenido de MO de ambos periodos es inferior a lo observado por Carriel (2014) de 910 g/kg de MS.

El contenido de PC en ambos periodos de precipitación pluvial fue similar, pese a que en el periodo de mayor precipitación ocurrió un aumento en la proporción de tallos (menor relación hoja/tallo) (Tabla 2), que contienen menor porcentaje de PC, en relación con el nivel proteico de las hojas; cuya pro-

porción fue mayor en el periodo de menor precipitación, tales cambios no causaron variaciones significativas en el contenido de PC entre los periodos evaluados.

El contenido de PC en ambos periodos es inferior al mencionado por Carriel (2014) y Vera (2014), pero superior al valor mínimo de nitrógeno (7%), considerado como crítico para promover el crecimiento microbiano en el rumen y el suministro de aminoácidos al animal (Meale *et al.*, 2012). El menor contenido de PC encontrado durante el periodo de mayor precipitación se encuentra cercano al límite del valor mínimo para cubrir los requerimientos de proteína degradable de los rumiantes manejados en pastoreo (Noguera *et al.*, 2016).

Las mayores concentraciones de FDN y FDA reportadas durante el periodo de menor precipitación podría estar influenciada por las condiciones ambientales como las altas temperaturas y bajas precipitaciones que tienden a aumentar los componentes de la pared celular y a disminuir el contenido soluble de las plantas (Yusuf *et al.*, 2020), además, fueron ocasionados por la mayor acumulación de material senescente (Tabla 2), producto de la mayor aceleración del proceso de madurez de la pastura, tal proceso ocurre debido a cambios metabólicos (disminución de la síntesis de proteínas, aumento en la concentración de aminoácidos libres), aumento en la concentración de la pared celular en las hojas y tallos, aunque de forma variable en sus componentes estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina) (Baruch, 1994). Del Pozo (2002) y Gutiérrez *et al.* (2015) indicaron que el proceso de madurez de la planta y la modificación de sus principales estructuras (material verde vs muerto y hojas vs tallos) genera un aumento en la proporción de nitrógeno que se une a los contenidos de la pared celular (proteína cruda ligada a la lignina), vale decir un aumento en la fracción indigestible de FDN, asociado a un aumento de su lignificación propiciando una degradabilidad más baja y por consiguiente no disponible para la digestión ruminal (Valente *et al.*, 2016).

El contenido promedio de FDN es superior al informado por Carriel (2014) de 592,2 g de FDN / kg MS. Mientras que el contenido promedio de la FDA es similar al reportado por este mismo autor (345,6 g de FDA / kg MS). El mayor contenido de FDN y FDA observado en el pasto es considerado como muy alto (Van Soest *et al.*, 1991) y según la American Forage and Grassland Council, el FDN es clasificada como de grado 5 (> 65%) y el FDA de grado 2 (33 - 38%) (Redfean *et al.*, 2014). Jiménez *et al.* (2019) señalan que una concentración de 550 g de FDN/ kg de MS,

es superior a la concentración que afecta negativamente el consumo voluntario y la digestibilidad de los nutrientes en los animales.

El contenido similar de ED y EM estaría relacionado al bajo contenido PC observado en ambos periodos, ello conlleva a una reducida fermentación de la MO en el rumen, además el alto contenido de FDN (> 65%) rico en silicatos producto de la madurez de la pastura afecta negativamente sobre el contenido de ED y EM en los pastos tropicales (Yan y Agnew, 2004). El contenido de ED fue 12% más bajo que el promedio de mantenimiento y aumento de peso requerido para los toros cebuínos en sistemas de pastoreo en condiciones tropicales reportado por e Silva *et al.* (2015). Los resultados para EM fueron similares a los publicados en las tablas de requerimientos de nutrientes. Así mismo, la relación EM: ED de 0,8 (en promedio para ambos periodos), fue similar a la relación (0,82) sugerida en las tablas de requerimientos de energía y proteínas (NASEM, 2016).

Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad verdadera *in vitro* de MS ($p = 0,06$) y MO ($p = 0,89$) fue similar para ambos periodos (Tabla 4). Este comportamiento puede explicarse por la estrecha relación entre los contenidos de PC y la DMO del pasto entre los periodos evaluados, la misma que está relacionada con la adecuada degradación celulolítica a nivel del rumen (Poppi y McLennan, 1995), debido a que la proteína al incidir directamente en el crecimiento microbiano compromete la producción de enzimas fibrolíticas implicadas en tal degradación y en consecuencia sobre la digestibilidad (Meale *et al.*, 2012; Valente *et al.*, 2016), especialmente cuando el contenido de sílica es alto lo que afecta la digestibilidad de la FDN, proceso que tiene un efecto negativo sobre el contenido de ED, EM y DMO en los forrajes (Yan y Agnew, 2004).

Tabla 4

Digestibilidad *in vitro* del forraje del pasto alemán en la selva durante el periodo de mayor y menor precipitación pluvial (media \pm EE)

Digestibilidad verdadera <i>in vitro</i> (g/kg MS)	Periodo de precipitación pluvial		p
	Mayor	Menor	
MS	581 \pm 3,5	566 \pm 6,6	0,06
MO	642 \pm 4,5	644 \pm 7,5	0,89

MS, materia seca; MO, materia orgánica; EE, error estándar.

Los valores de relación de PC con la DMO calculados a partir del contenido de PC y DIVVMO (Tablas 3 y 4) en el presente estudio fueron de 139,8 g PC / kg de DMO y 153,5 g PC / kg de DMO para los periodos de mayor

y menor precipitación respectivamente, ambos inferiores a la relación óptima recomendada por Poppi y McLennan (1995) de 210 g PC / kg DMO para la adecuada celulosis ruminal. Sin embargo, los valores de DIVVMS estimados se encuentra dentro de los rangos comunes de digestibilidad (50 - 63%) para forrajes tropicales informados por Van Soest *et al.* (1991). Mientras que es superior a lo reportado por Soto *et al.* (2009) quienes encontraron valores de DIVVMS de 550 g/kg MS.

Los forrajes tropicales típicamente presentan menos carbohidratos solubles y un alto contenido de pared celular y la concentración de la lignificación tiende a ser mayor en los tejidos estructurales y son virtualmente indigeribles, permaneciendo intactos en el fluido ruminal después de largos tiempos de incubación, por lo que dificulta la disponibilidad de nutrientes para los rumiantes (Valente *et al.*, 2016). La digestibilidad de la materia seca y materia orgánica en ambos periodos experimentales fueron similares, sin embargo, la DIVVMS y MO reportado durante el periodo de menor precipitación pudo ser afectada por una mayor concentración de PC ligada a la lignina producto de la mayor madurez de la pastura observado en su mayor acumulación de material senescente y mayor concentración de FDN y FDA. Mientras que, durante el periodo de mayor precipitación, la digestibilidad pudo ser afectada por una mayor proporción de la fracción tallo (menor relación hoja/tallo) que como es de conocimiento propicia una menor concentración de PC y mayor acumulación de tejido de sostén con mayores concentraciones de pared celular (rico en FDN y FDA). Sin embargo, nuestros resultados muestran que las diferencias entre componentes de composición química referidos, entre los periodos evaluados, no generan diferencias en digestibilidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis químico tradicional el pasto alemán durante el periodo de mayor precipitación pluvial puede considerarse con mayor calidad debido a su mayor nivel de MO y menor contenido de FDN, FDA. Mientras que cuando consideramos los contenidos de EM, la relación EM: ED que están acorde al NASEM (2016) y los contenidos de DIVV (MS y MO), el pasto alemán se constituye en una buena fuente de forraje para el ganado vacuno al pastoreo durante ambos periodos de precipitación pluvial en el ecosistema de selva alta del Perú. Sin embargo, esta información no permite hacer una caracterización de la calidad de los pastos en términos de su aprovechamiento energético y proteico a nivel ruminal, lo cual es importante al momen-

to de establecer un sistema de alimentación para rumiantes en el trópico. Por lo que [Hatew *et al.* \(2015\)](#) y [Hammond *et al.* \(2016\)](#) recomiendan ampliar la información como primer enfoque para probar alimentos y aditivos potenciales sobre sus propiedades nutricionales, estimando otros productos de fermentación, tales como perfiles de ácidos grasos volátiles, producción de proteína microbiana y producción de metano ([Navarro-Villa *et al.*, 2011](#)).

2.5. Producción de metano *in vitro*

La producción neta de gas corregida fue similar para ambos periodos experimentales ($p = 0,83$), igual comportamiento muestra la producción de CH_4 *in vitro* ($p = 0,63$) (Tabla 5). Diferencias en el volumen de producción de metano *in vitro* han sido asociadas principalmente a las concentraciones de fibra y la digestibilidad en especies de gramíneas ([du Toit *et al.*, 2018](#)), es ampliamente conocido que la digestión de la fibra influye significativamente en la producción de CH_4 , existiendo alta correlación entre la producción de metano y el consumo de FDN ([Kasuya y Takahashi, 2010](#); [Demarchi *et al.*, 2016](#)).

Tabla 5

Producción de gases a partir del forraje del pasto alemán muestreados durante el periodo de mayor y menor precipitación pluvial (media \pm EE)

Producción de gases <i>in vitro</i> (ml/g MS incubada)	Periodo de precipitación pluvial		p
	Mayor	Menor	
PNGC	179 \pm 2,8	176 \pm 4,7	0,56
PMIV	31,9 \pm 0,4	31,9 \pm 0,4	0,97

EE, error estándar.

Existía la premisa de que las diferencias en los componentes agronómicos, estructurales y calidad nutricional del forraje entre los periodos evaluados influiría en la producción de metano *in vitro*, principalmente los relacionados a FDN y FDA ya que estos dos nutrientes se correlacionan de forma positiva con las emisiones de metano ([Van Soest *et al.*, 1991](#); [Yan y Agnew, 2004](#); [Barahona y Sánchez, 2005](#); [Demarchi *et al.*, 2016](#)); sin embargo, los resultados encontrados indican que las variaciones estructurales y nutricionales en el pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch, de cuarenta y cinco días de edad, no habrían sido suficientes para diferenciar la digestibilidad y la producción de metano entre periodos. Es posible que la baja relación hoja: tallo, el bajo contenido de PC y alta concentración de FDN y FDA en ambos periodos, estén influenciando tales resultados.

Por un lado, cuando el contenido de material verde y la relación hoja: tallo se reducen,

mientras que, los tallos y material senescente se incrementen, además de la acumulación de masa de forraje asociados con un mayor engrosamiento, una alta acumulación de lignina en la pared celular, por lo general, hay una disminución en la calidad nutritiva (composición química y digestibilidad) del forraje disponible ([Van Soest *et al.*, 1991](#); [Valente *et al.*, 2016](#); [Montenegro *et al.*, 2018](#)) y restringen la digestión microbiana y la fermentación ([Khan *et al.*, 2020](#); [Yusuf *et al.*, 2020](#)) por lo que, la producción de metano se ve mermada ([Montenegro *et al.*, 2018](#)). Por otro lado, está bien documentado el efecto negativo de aportes deficientes de nitrógeno en la dinámica ruminal ([Meale *et al.*, 2012](#)), así como también, la restricción que imponen altas concentraciones de fibra (FDA) en la digestibilidad de la dieta ([Van Soest *et al.*, 1991](#); [Valente *et al.*, 2016](#)). Los componentes de la pared celular (FDN y FDA) son más lentos en su tasa de fermentación durante las primeras 6 horas de incubación ya que necesitan estar adecuadamente hidratadas y previamente colonizadas por hongos que se encargan de romper las paredes celulares, así como la existencia de una interfase acuosa para que las enzimas liberadas por los microorganismos puedan dar inicio a la digestión propiamente dicha, produciendo al final más gas por unidad de sustrato digerido ([Kasuya y Takahashi, 2010](#); [Mirzaei y Maheri-Sis, 2015](#); [Bedoya-Mazo *et al.*, 2016](#); [Valente *et al.*, 2016](#)).

La PNGC promedio (177,5 ml/g de MS incubada) y la PMIV promedio (31,9 ml/g de MS incubado) fueron superiores a los encontrados por [Bedoya-Mazo *et al.* \(2016\)](#) en muestras de *Brachiaria decumbens* incubadas durante 24 horas. Por otro lado, en términos de PMIV, son inferior a lo reportado por [Rivera *et al.* \(2015\)](#) en dietas de sistemas silvopastoriles intensivos cuya base forrajera fue el pasto estrella *Cynodon plectostachyus*. [Jiménez *et al.* \(2019\)](#) observaron menor producción de metano *in vitro* en el pasto *Panicum maximum* incubado durante 24 horas a pesar de presentar altos contenidos de FDN y FDA (712 y 490 g/kg de MS, respectivamente), manifiestan al respecto, que el tipo de carbohidratos determina la tasa de pasaje, afectando la producción de CH_4 por gramo de sustrato digerido, ya que puede estar mediada por una menor disponibilidad de carbohidratos digeribles. También señalan que una concentración de 550 g de FDN/ kg de MS, es superior a la concentración que afecta negativamente el consumo voluntario y la digestibilidad de los nutrientes en los animales.

4. Conclusiones

Los contenidos de fibra detergente neutra y fibra detergente ácida del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch fueron superiores en el periodo de menor precipitación pluvial, mientras que el contenido de la materia orgánica fue mayor en el periodo de mayor precipitación. Sin embargo, los cambios en las precipitaciones pluviales no afectaron el contenido, proteína cruda, digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y producción de metano *in vitro*. Se recomienda hacer pruebas de producción de metano *in vitro* utilizando como estrategias la incorporación de algunas leguminosa o aditivos ricos en metabolitos secundarios (taninos, saponinas), cuyos resultados permitirán sugerir el uso potencial de dichas estrategias permitiendo aprovechar el máximo valor nutritivo del pasto alemán y por ende reducir la producción de metano.

Agradecimientos

Los autores reconocen el apoyo del BID-FONTAGRO; al Instituto de Ciencias Agrícolas en los Trópicos, Universidad de Hohenheim; y del "Centro de Investigación y Producción Tulumayo anexo La Divisoria- Puerto Súngaro de la Universidad Nacional Agraria de la Selva" por proporcionar los terrenos para la ejecución del estudio.

ORCID

M. Díaz-Céspedes  <https://orcid.org/0000-0003-0134-8239>
 J. Hernández-Guevara  <https://orcid.org/0000-0002-5919-8408>
 C. Gómez-Bravo  <https://orcid.org/0000-0001-9021-5838>

Referencias bibliográficas

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2006. Association of the Association of Official Analytical Chemists, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Virginia, USA. 770-771 pp.
- Barahona, R.; Sánchez, S. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 6(1): 69-82.
- Baruch, Z. 1994. Response to drought and flooding in tropical forage grasses. II. Leaf water potencial, photosynthesis rate and alcohol dehydrogenase activity. *Plant and Soil* 164: 97 - 105.
- Beauchemin, K.A.; Ungerfeld, E.M.; Eckard, R.J.; *et al.* 2020. Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*. 14: S1, pp s2-s16.
- Bedoya-Mazo, S; Noguera, R.R.; Posada, S. L. 2016. Efecto de la especie donadora de inóculo ruminal sobre la degradación de la materia seca y producción de metano *in vitro*. *Livestock Research for Rural Development* 28(5): 86.
- Carriel, P.H. 2014. Estudio del comportamiento agrónomo de cuatro variedades de pastos sometidos a distanciamientos de siembra en la zona de Pueblo Viejo. Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo, provincia de Los Ríos, Ecuador. 51 pp.
- Del Pozo, R.P.P. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. *Pastos: Revista de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos* 32(2): 109-137.
- Demarchi, J.; Manella, M.; Primavesi, O.; *et al.* 2016. Effect of Seasons on Enteric Methane Emissions from Cattle Grazing *Urochloa brizantha*. *Journal of Agricultural Science* 8(4): 106-115.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F; Balzarini, M.G.; *et al.* 2018. InfoStat versión 2018 Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- du Toit, C.J.L.; van Niekerk, W.A.; Meissner, H.H.; *et al.* 2018. Nutrient composition and *in vitro* methane production of sub-tropical grass species in transitional rangeland of South Africa. *The Rangeland Journal* 40: 1-8.
- e Silva, L.C.; Engle, T.E.; Valadares Filho, S.C.; *et al.* 2015. Intake, apparent digestibility, and nutrient requirements for growing Nellore heifers and steers fed two levels of calcium and phosphorus. *Livestock Science* 181: 17-24.
- Gutiérrez, D.; Rojas, E.B.; Hernández, R.R.; *et al.* 2015. Evaluación de la composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de ensilaje mixto con *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-169: *Moringa oleifera*. *Avances en Investigación Agropecuaria* 19(3): 7-16.
- Hammond, K.J.; Crompton, L.A.; Bannink, A.; *et al.* 2016. Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 219: 13-30.
- Hatew, B.; Cone, J.; Pellikaan, W.F.; *et al.* 2015. Relationship between *in vitro* and *in vivo* methane production measured simultaneously with different dietary starch sources and starch levels in dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology* 202: 20-31.
- Heuzé, V.; Tran, G.; Giger-Reverdin, S.; *et al.* 2017. German grass (*Echinochloa polystachya*). *Feedipedia*, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Disponible en: <https://www.feedipedia.org/node/449>
- Jiménez, Á.; Jiménez, G.; Alayón, A.; *et al.* 2019. Fermentación ruminal y producción de metano usando la técnica de gas *in vitro* en forrajes de un sistema silvopastoril de ovinos de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10(2): 298-314.
- Jonker, A.; Molano, G.; Koolaard, J.; *et al.* 2017. Methane emissions from lactating and non-lactating dairy cows and growing cattle fed fresh pasture. *Animal Production Science* 57: 643-648.
- Kasuya, H.; Takahashi, J. 2010. Methane emissions from dairy cows fed grass or legume silage. *Asian-Australasian Journal Animal Science* 23: 563-566.
- Khan, N.A.; Rahman, S.U.; Cone, J.W. 2020. Chemical composition, ruminal degradation kinetics and methane production (*In vitro*) potential of local and exotic grass species grown in Peshawar. *Pak. J. Bot.* 52(1): 161-166.
- Knapp, J.; Laur, G.; Vadas, P.; *et al.* 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science* 97: 3231-3261.
- Lalman, D. 2017. Nutritive value of feeds for beef cattle. Fact sheet ANSI-3018. Stillwater, OK: Oklahoma State University Cooperative Extension Service. Disponible en: <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-1955/ANSI-3018web.pdf>
- Meale, S.J.; Chaves, A.V.; Baah, J.; *et al.* 2012. Methane production of different forages in *in vitro* ruminal fermentation. *Asia-Australia Journal of Animal Science* 25(1): 86-91.
- Melgarejo, L.G. 2017. Muestreo de forraje. In *Prácticas de producción y aprovechamiento de forrajes*. Primera ed. Editorial UNAM. Ciudad de México, México. Pp. 38-56.
- Menke, K.; Raab, L.; Salewski, A.; *et al.* 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding-stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science (Camb.)* 93: 217-222.
- Merlo, F.E.; Ramírez, L.; Ayala, A.J.; *et al.* 2017. Efecto de la edad de corte y la época del año sobre el

- rendimiento y calidad de *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Staff en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science* 4(2): 116-127.
- Mirzaei, A.; Maheri-Sis, N. 2015. Factors affecting mitigation of methane emission from ruminants: Microbiology and biotechnology strategies. *JABB-Online Submission System* 4(1): 22-31.
- Montenegro, J.; Barrantes, E.; DiLorenzo, N. 2018. Determinación de la emisión de metano entérico de novillos Brahman en pastoreo en el ecosistema de bosque tropical seco de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales* 52(2): 157-170.
- Muñoz, C.; Hube, S.; Morales, J.; *et al.* 2015. Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livestock Science* 175: 37-46.
- Navarro-Villa, A.; O'Brien, M.; López, S.; *et al.* 2011. Modifications of a gas production technique for assessing *in vitro* rumen methane production from feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 163-174.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. 494 pp.
- Noguera, R.R.; Ramírez, J.F.; Posada, S.L. 2016. Efecto de la concentración de proteína cruda en suplementos para vacas lecheras sobre la degradación de la materia seca *in vitro*. *Livestock Research for Rural Development* 28(8): #148.
- Palmonari, A.; Gallo, A.; Fustini, M.; *et al.* 2016. Estimation of the indigestible fiber in different forage types. *Journal of Animal Science* 94(1): 248-254.
- Poppi, D.; McLennan, S. 1995. Protein and Energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science* 73: 278-290.
- Redfearn, D.D.; Zhang, H.; Caddel, J.L. 2004. Forage quality interpretations. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University. Disponible en: <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Rendition-7139/PSS-2117web.pdf>
- Rivera, J.E.; Molina, I.C.; Donneys, G.; *et al.* 2015. Dinámicas de fermentación y producción *in vitro* de metano en dietas de sistemas silvopastoriles intensivos con *L. leucocephala* y sistemas convencionales orientados a la producción de leche. *Livestock Research for Rural Development* 27(4): 1-15.
- Senger, C.C.D.; Kozloski, G.V.; Sanchez, L.M.B.; *et al.* 2008. Evaluation of autoclave procedures for fiber analysis in forage and concentrate feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology* 146: 169-174.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). 2017. Boletín Agrometeorológico. Dirección Zonal 10. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.pe/load/file/04410SENA-14.pdf>
- Soto, S.; Rodríguez, J.C.; Russo, R. 2009. Digestibilidad *in vitro* en forrajes tropicales a diferentes edades de rebrote. *Revista Tierra Tropical* 5(1): 83-89.
- Valente, T.N.P.; da Silva Lima, E.; Gomes, D.I.; *et al.* 2016. Anatomical differences among forage with respect to nutrient availability for ruminants in the tropics: A review. *African Journal of Agricultural Research* 11(18): 1585-1592.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.; Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Vera, D. 2014. Respuesta del Pasto Alemán (*Echinochloa polystachya*) a tres láminas de riego, en la parroquia San Antonio, provincia de Manaví. Tesis de Maestría. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. provincia de Manaví, Ecuador. 88 pp.
- Yan, T.; Agnew, R.E. 2004. Prediction of nutritive value in grass silages: I. Nutrient digestibility and energy concentration using nutrient composition and fermentation characteristics. *J Anim Sci* 82: 1367-1379.
- Yan, T.; Mayne, C.S.; Gordon, F.G.; *et al.* 2010. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93(6): 2630-2638.
- Yusuf, A.O.; Egbinola, O.O.; Ekunseitan, D.A., Salem, A.Z.M. 2020. Chemical characterization and *in vitro* methane production of selected agroforestry plants as dry season feeding of ruminants livestock. *Agroforestry Systems (In press)*.