



Respuestas del ganado *Bos indicus* a los aditivos alimentarios fitogénicos en comparación con la monensina en dietas para corral de engorda



Kíria Karolline Gomes Moreira Guimarães ^a

Tiago Pereira Guimarães ^b

Barbara Juliana Martins Lemos ^a

Fabiola Alves Lino ^a

Debora Gomes de Sousa ^a

Flávia Martins de Souza ^a

José Tiago das Neves Neto ^a

Victor Rezende Moreira Couto ^a

João Teodoro Padua ^a

Edemilson Cardoso da Conceição ^a

Juliano José de Resende Fernandes ^a

Gabriella de Oliveira Nascimento ^b

Patrick Bezerra Fernandes ^{b*}

^a Universidade Federal de Goiás. Escola de Veterinária e Zootecnia. Goiânia, Brazil.

^b Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, Brazil.

* Autor de correspondencia: bezerrazpatrick@gmail.com

Resumen:

Dos experimentos evaluaron las respuestas del ganado *Bos indicus* alimentado con monensina (MON), extracto de *Stryphnodendron adstringens* (BBT), una mezcla de aceites esenciales (MAE) y una mezcla de aceites funcionales (MAF). Los aditivos alimentarios se añadieron a una ración mezclada total (RMT) con una proporción de forraje a concentrado de 20:80. En el experimento 1, con una duración de 104 días, se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Se asignaron ciento catorce (114) toros mestizos (336 ± 26 kg PC) a cuatro tratamientos: MON (30 mg/kg MS), BBT (1,500 mg/kg MS), MAE (118 mg/kg MS) y MAF (250 mg/kg MS). MON resultó en la menor ingesta de materia seca. La ganancia diaria promedio, el peso corporal final y las características de la canal fueron similares en todos los tratamientos. La eficiencia alimenticia fue 13 %, 11 % y 4 % mayor con MON en comparación con BBT, MAE y MAF, respectivamente. En el experimento 2 se empleó un cuadrado latino de 5×5 con cinco novillos *Bos indicus* fistulados ruminalmente para probar los mismos cuatro tratamientos y una dieta control sin aditivos. Cada período duró 14 días. La digestibilidad aparente de los nutrientes y las concentraciones de ácidos grasos volátiles y NH₃-N fueron similares entre los tratamientos. BBT y MAF presentaron los valores de pH ruminal más bajos (6.54) y más altos (6.75), respectivamente. La monensina mostró una eficiencia alimenticia superior a pesar de tener perfiles de digestibilidad de nutrientes y fermentación ruminal similares en comparación con los aditivos fitogénicos.

Palabras clave: Rendimiento de crecimiento, Características de canal, Digestibilidad de nutrientes, Extractos de plantas, Fermentación ruminal.

Recibido: 29/10/2024

Aceptado: 09/06/2025

Introducción

El principal desafío en la industria ganadera ha sido mantener la alta eficiencia en el rendimiento de los animales, que es fundamental para la rentabilidad, al tiempo que se utilizan prácticas sostenibles que suprimen los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. La eficiencia alimenticia en rumiantes se mejora al reducir las pérdidas de la energía consumida. Se puede conseguir, entre otros factores (p. ej., mejora genética y ambiental), mediante la alimentación con dietas que incluyan compuestos capaces de alterar positivamente la fermentación ruminal (p. ej., ionóforos como la monensina).

Los compuestos fitogénicos (p. ej., taninos, aceites esenciales y aceites funcionales) tienen actividades antimicrobianas específicas que modulan la fermentación ruminal y pueden mejorar la utilización de nutrientes^(1,2). Por lo tanto, la sustitución de los compuestos (incluidos los antibióticos) que se utilizan actualmente en la nutrición de los rumiantes por fitoquímicos naturales puede permitir avances en la producción ganadera sostenible en todo el mundo. Sin embargo, aún se necesitan estudios *in vivo* sólidos y a gran escala para proporcionar apoyo científico para el desarrollo de nuevos productos fitogénicos y para mejorar los disponibles en el mercado con beneficios productivos y para la salud de los rumiantes.

Los taninos son polifenoles vegetales que pueden unirse y precipitar proteínas⁽³⁾. El extracto de la corteza de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), árbol nativo del Cerrado brasileño, tiene una alta concentración de taninos condensados y mostró marcada actividad antimicrobiana cuando se evaluó *in vitro* la fermentación ruminal de dietas de alto y bajo contenido de forraje⁽⁴⁾. Los aceites esenciales son mezclas de metabolitos volátiles de plantas obtenidos a través de la destilación por arrastre de vapor⁽¹⁾, que tienen varios objetivos en la célula microbiana y diferentes modos de acción, evitando así el desarrollo de resistencia. La diversidad y las interacciones sinérgicas de los metabolitos secundarios de las plantas, por lo tanto, presentan una ventaja en comparación con el uso de compuestos individuales que tienen un solo modo de acción⁽⁵⁾. Los aceites funcionales son ácidos grasos con propiedades (p. ej., actividad antimicrobiana selectiva) que superan su valor nutricional (es decir, energético)⁽⁶⁾.

Por lo tanto, se planteó la hipótesis de que la alimentación con un extracto de planta rico en taninos condensados, como el barbatimão (BBT, *S. adstringens*), una mezcla de aceites esenciales (MAE) o una mezcla de aceites funcionales (MAF) del ganado de engorda puede mejorar la fermentación ruminal a través de la actividad antimicrobiana selectiva, aumentando así el suministro de energía con efectos positivos en la eficiencia alimenticia. En consecuencia, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar las respuestas del rendimiento de crecimiento, características de la canal, digestibilidad de los nutrientes y fermentación ruminal del ganado en finalización alimentado con BBT, MAE y MAF en comparación con la monensina (MON).

Material y métodos

Los procedimientos experimentales fueron revisados y aprobados por el Comité de Ética sobre el Uso de Animales de la Universidad Federal de Goiás (UFG), aprobación número 89/14.

Experimento 1

Animales y diseño experimental

Ciento catorce (114) toros mestizos *Bos indicus* (predominantemente Nellore; 336 ± 26 kg de peso corporal [PC] inicial promedio; edad promedio de 22 meses) fueron asignados a 20 corrales (corrales con superficie de suelo; 7.7 m de profundidad \times 9.7 m de ancho; 9.7 m de espacio de comedero lineal) en un diseño de bloques completos al azar. Los toros se clasificaron por PC ascendente y se asignaron a bloques de PC (PC inicial promedio: bloque 1= 303 ± 9.4 kg; bloque 2= 319 ± 2.7 kg; bloque 3= 332 ± 6.6 kg; bloque 4= 350 ± 4.9 kg; bloque 5= 375 ± 14.1 kg). Los toros dentro de un bloque se asignaron aleatoriamente a los corrales (5 o 6 toros/corral), y los corrales dentro de un bloque se asignaron aleatoriamente a 1 de 4 tratamientos dietéticos. El corral, que contenía 5 o 6 toros cada uno, se consideró la unidad experimental para todas las variables estudiadas ($n= 5$ corrales por tratamiento). El total de toros asignados a cada tratamiento fue de 29 para MON y BBT, y 28 para MAE y MAF.

A los toros se les retiró el alimento (pero se les permitió agua) durante la noche (aproximadamente 14 h), fueron identificados con aretes numerados, pesados individualmente, vacunados contra enfermedades clostridiales (Poli-Star; Vallée SA, São Paulo, SP, Brasil), e inyectados con una fuente suplementaria de vitaminas (ADE Inyectable; Pfizer, São Paulo, SP, Brasil). El ganado también recibió sulfóxido de albendazol (Agebendazol; Agener União, Embu-Guaçu, SP, Brasil) e ivermectina (Absolut; Vallée S.A., São Paulo, SP, Brasil), ambos con fines de desparasitación.

Tratamientos

Los tratamientos experimentales consistieron en el uso de cuatro aditivos diferentes, siendo la monensina el único que no es de origen natural, por lo que se consideró el control. Los tratamientos evaluados fueron MON: 30 mg/kg de monensina (Rumensin-200; Elanco Animal Health, São Paulo, SP, Brasil); BBT: 1,500 mg/kg de extracto de corteza de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*); MAE: 118 mg/kg de la mezcla microencapsulada de aceites esenciales (carvacrol, cinamaldehído y eugenol) y extracto de pimienta (capsaicina de oleorresina de capsicum); MAF: 250 mg/kg de la mezcla microencapsulada de aceites funcionales (aceite de ricino, oleorresina de copaiba y líquido de cáscara de anacardo). Las dosis de MON, MAE y MAF fueron recomendadas por los fabricantes.

El extracto crudo de barbatimão (*S. adstringens*) fue proporcionado por el Laboratorio de Investigación en Productos Naturales (LPPN, por sus siglas en portugués) de la Facultad de

Farmacia-UFG (Goiânia, GO, Brasil). Las cortezas de los árboles de barbatimão se secaron en un horno de aire forzado a 40 ± 5 °C durante 48 h, se molieron con un molino Wiley (R-TE-625; Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) para pasar a través de una criba de 1 mm, se maceraron durante 24 h con una solución hidroetanólica (80:20, relación etanol/agua) y se percolaron a temperatura ambiente. Este extracto líquido se secó en un horno de aire forzado a 40 ± 5 °C durante 48 h. El extracto de barbatimão contenía 440 g/kg de taninos totales (analizado según lo descrito por Sousa *et al*⁽⁷⁾). Los tratamientos (aditivos alimentarios) se mezclaron previamente con harina de soya y luego se mezclaron con otros ingredientes secos (harina de soya, cascarilla de soya, maíz molido, urea y suplemento mineral) para hacer un alimento concentrado, como se describe en la siguiente sección.

Manejo de la alimentación

Los toros se alimentaron una vez al día (0800 h) y se les permitió el acceso *ad libitum* al alimento y al agua durante 104 días. La dieta de finalización se formuló utilizando el NASEM⁽⁷⁾. Los toros se adaptaron gradualmente a la dieta de finalización durante una fase de adaptación de 14 días. La inclusión de forraje (bagazo de caña de azúcar) en la ración mezclada total (RMT) se redujo de la siguiente manera: del día 1 al 7, los toros se alimentaron con una dieta que contenía una relación forraje/concentrado de 30:70 (base materia seca [MS]); día 8-14, el ganado se alimentó con una dieta de 25:75; día 15 en adelante, el ganado se alimentó con la dieta de finalización (20:80; Cuadro 1). Todos los toros recibieron sus respectivos tratamientos (contenidos en el alimento concentrado) desde el día 1. Por lo tanto, los datos de la fase de adaptación (es decir, día 1 al 14) se incluyeron en los análisis estáticos de las respuestas de ingesta de MS y de rendimiento del crecimiento.

Cuadro 1: Ingredientes y composición de nutrientes de la dieta experimental

Ingredientes, g/kg de MS	Contenido
Bagazo de caña de azúcar	194.9
Maíz molido	511.5
Cascarilla de soya	236.3
Harina de soya	12.2
Urea	14.6
Suplemento mineral ¹	18.3
Premezcla con aditivos ²	12.2
Composición de nutrientes	
Materia seca ³ , g/kg base fresca	810 ± 9.9
Extracto etéreo ³ , g/kg de MS	26 ± 2.3
Proteína cruda ³ , g/kg de MS	162 ± 6.3
FDN ³ , g/kg de MS	298 ± 11.7
FDA ³ , g/kg de MS	127 ± 10.3
Cenizas ³ , g/kg de MS	33 ± 0.9
PDR ⁴ , g/kg de MS	83.6
ENm ⁴ , Mcal/kg	1.64
ENg ⁴ , Mcal/kg	1.04

¹ Conteníó 130 g/kg de Ca, 60 g/kg de P, 111 g/kg de Na, 6 g/kg de Mg, 20 g/kg de S, 80 mg/kg de Co, 1,000 mg/kg de Cu, 600 mg/kg de Fe, 80 mg/kg de I, 600 mg/kg de Mn, 8 mg/kg de Se y 4,000 mg/kg de Zn.

² Premezcla de harina de soya con aditivos alimentarios: MON= 30 mg/kg de monensina; BBT= 1,500 mg/kg de extracto de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*); MAE= 118 mg/kg de la mezcla de aceites esenciales (carvacrol, cinamaldehído y eugenol) y extracto de pimienta (capsaicina de oleorresina de capsicum); MAF= 250 mg/kg de la mezcla de aceites funcionales (aceite de ricino, oleorresina de copaiba y líquido de cáscara de anacardo).

³ Composición analizada, promedio ± desviación estándar.

⁴ Calculado sobre la base del análisis de nutrientes de cada ingrediente dietético utilizando ecuaciones de NASEM⁽⁷⁾ (PDR= proteína degradable en rumen, ENm= energía neta para mantenimiento y ENg= energía neta para ganancia).

La cantidad de alimento concentrado necesaria en los experimentos 1 y 2 se elaboró en una fábrica de alimentos comercial (Ganho Nutrição Animal; Goiânia, GO, Brasil) utilizando el mismo lote de ingredientes (harina de soya, cascarilla de soya, maíz molido, urea y suplemento mineral) y las premezclas que contenían los tratamientos. El alimento concentrado se empaquetó en bolsas de polipropileno de 40 kg de capacidad, etiquetadas por tratamiento y almacenadas en el centro de investigación. En el momento de la alimentación, el alimento concentrado se mezcló con bagazo de caña de azúcar utilizando un mezclador horizontal de 3 m³ de capacidad tirado por tractor (Siltomac 203; São Carlos, SP, Brasil). El contenido de MS en la dieta se ajustó semanalmente a 650 g/kg con adición de agua para

mejorar la ingesta y evitar el comportamiento de clasificación del alimento. Los comederos se evaluaron visualmente a las 0700 h diariamente para estimar la cantidad de sobrante en cada corral. Los comederos se gestionaron de forma que los sobrantes no superaran el 5 % de la ingesta diaria.

Recolección de muestras, análisis de laboratorio y mediciones

A lo largo del experimento, se tomaron muestras semanales del alimento ofrecido y de los sobrantes de cada uno de los 5 corrales/tratamiento, se compusieron por tratamiento, y se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se obtuvo una submuestra de cada compuesto de tratamiento dietético semanal para el análisis de MS mediante secado en horno de aire forzado durante 24 h a $100 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$; el valor de MS se utilizó para calcular la IMS diaria restando los sobrantes al alimento ofrecido (sobre la base de MS). Los ingredientes también se muestrearon semanalmente y se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Al final del estudio, las muestras se descongelaron, se compusieron a los 28 días, se secaron en un horno de aire forzado a $55 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 72 h, se molieron con un molino Wiley (Tecnal TE-650; Tecnal Equipamentos Científicos, Piracicaba, SP, Brasil) para pasar a través de una criba de 1 mm, y se analizaron por duplicado según los métodos de la AOAC⁽⁸⁾ para MS de laboratorio (método 930.15), cenizas (método 942.05), proteína bruta (nitrógeno $\times 6.25$; N método 990.03), y extracto etéreo (EE; método 945.16). La fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA) se determinaron secuencialmente en muestras compuestas⁽⁹⁾ utilizando una α -amilasa termoestable (A3306; Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, EE. UU.), se omitió el sulfito de sodio y se expresó sin incluir cenizas residuales.

Con el objetivo de evaluar la GDP y la eficiencia alimenticia (es decir, GDP/IMS), los toros se pesaron individualmente un día antes del comienzo (día 1) y al final (día 104) del experimento, después de retirar el alimento durante la noche (aproximadamente 14 h) pero se les permitió el acceso al agua. Al final del experimento, los toros se sacrificaron en una planta empacadora comercial (JBS; Goiânia, GO, Brasil; a 12 km del centro de investigación). Las canales se identificaron individualmente, se separaron en dos secciones simétricas y se pesaron para obtener el peso de la canal caliente (PCC). El rendimiento de la canal (RC) se calculó dividiendo el PCC por el PC final. Después de enfriar durante 24 h a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, las canales del lado izquierdo se seccionaron entre las costillas 12 y 13, y el grosor de grasa de la costilla 2 se midió utilizando un calibrador digital (0 a 150 mm, precisión 0.01 mm; Cingda HT0403-A1; Cingda Industry Co, Nanjing, JS, China).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el paquete “easynova”⁽¹⁰⁾ del software R⁽¹¹⁾ como un diseño de bloques completos al azar con 4 tratamientos (aditivos alimentarios) y 5 bloques

(peso corporal inicial). El corral (n= 20) fue la unidad experimental para todas las variables evaluadas. La IMS registrada diariamente durante la fase de adaptación se analizó como una medida repetida a lo largo de los días en alimentación. Para el análisis de medidas repetidas se utilizó una estructura de covarianza de simetría compuesta. Esta estructura de covarianza mostró el valor más bajo del criterio de información de Akaike. Las diferencias estadísticas se declararon en $P < 0.05$ y las tendencias se discutieron en $P \leq 0.10$. Se utilizó el siguiente modelo: $Y = \mu + B_i + T_j + e_{ij}$, en donde μ = media global, B_i = efecto del bloque ($i = 1$ a 5), T_j = efecto del tratamiento ($j = 1$ a 4) y e_{ij} = error residual. Se utilizó la prueba de comparación de Tukey para comprobar las diferencias entre medias ($P < 0.05$). Las medias se presentan como medias de mínimos cuadrados con el error estándar de la media (EEM).

Experimento 2

Animales, diseño experimental y tratamientos

Cinco (5) novillos mestizos *Bos indicus* fistulados ruminalmente (predominantemente Nellore; 275 ± 15.5 kg de PC promedio al comienzo del experimento) fueron alojados en corrales individuales en un diseño de cuadrado latino de 5×5 . Los periodos experimentales fueron de 14 días y consistieron en 10 días de adaptación a los tratamientos y 4 días de mediciones. Los novillos fueron sometidos al mismo manejo de alimentación aplicado a los toros en el Exp. 1. En el experimento de metabolismo se evaluaron los tratamientos del Exp. 1 más un tratamiento control adicional sin aditivos (CTL).

Digestibilidad aparente de los nutrientes en todo el tracto

El alimento y los sobrantes se registraron y muestrearon diariamente para cada novillo del día 11 al 14. Se recogieron muestras fecales (aproximadamente 200 g) del recto de cada novillo dos veces al día (temprano en la mañana y al final de la tarde) del día 11 hasta el día 13. Todas las muestras se almacenaron a -20 °C. Después del experimento, las muestras se descongelaron, se compusieron para cada novillo por período, se secaron en un horno de aire forzado a 55 ± 5 °C durante 72 h y se molieron con un molino Wiley (R-TE-650; Tecnal Equipamentos Científicos, Piracicaba, SP, Brasil) para pasar a través de una criba de 1 mm. Se analizó la composición química del alimento, los sobrantes y las heces como se describe en el Exp. 1. Con el objetivo de estimar la excreción fecal diaria (kg de MS), cada novillo recibió 5 g/d de óxido de cromo (Cr_2O_3 ⁽¹²⁾) a través de la fístula ruminal del día 1 al 13 de cada período experimental. La digestibilidad aparente de los nutrientes en todo el tracto se calculó utilizando la siguiente ecuación: $100 - 100 \times [(\text{concentración de } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ proporcionado/concentración de } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ en heces)} \times (\text{concentración de nutrientes en heces/concentración de nutrientes en alimento})]$.

Fermentación ruminal

El líquido ruminal se recolectó de las áreas craneal, ventral y caudal del rumen, se agrupó en un recipiente de 2 L de capacidad y se filtró a través de una tela de algodón. Las muestras se recolectaron antes de la distribución del alimento (0 h) y a las 2, 4, 8 y 12 h después de la distribución del alimento el día 14 de cada período experimental. El pH ruminal se registró inmediatamente después del muestreo utilizando un medidor de pH portátil (Bel Equipamentos Analíticos, Piracicaba, SP, Brasil). Las submuestras de líquido ruminal (50 ml cada una) se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin conservantes para análisis de ácidos grasos volátiles (AGV⁽¹³⁾ 1961) por cromatografía de gases (Shimadzu GC-2010; Shimadzu Corporation, Kyoto, Japón) y nitrógeno amoniacal ruminal (N-NH_3 ⁽¹⁴⁾) por espectrofotometría (Biospectro SP-22; Biospectro, Curitiba, PR, Brasil).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el paquete “easynova”⁽¹⁰⁾ del software R⁽¹⁰⁾ en un diseño de cuadrado latino de 5×5 . Los tratamientos y períodos se incluyeron en el modelo como efectos fijos. El novillo fue la unidad experimental y se incluyó en el modelo como un efecto aleatorio según la ecuación: $Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + D_k + e_{ijk}$. Donde: Y_{ijk} = variable dependiente, μ = media global, A_i = efecto aleatorio del animal ($i= 1$ a 5), P_j = efecto fijo del período ($j= 1$ a 5), D_k = efecto fijo del tratamiento ($k= 1$ a 5), e_{ijk} = error aleatorio asociado con la observación.

Los datos de fermentación ruminal (pH, $\text{NH}_3\text{-N}$ y AGV) se presentaron promediando el tiempo de muestreo, de acuerdo con la ecuación: $Y_{ijkl} = \mu + A_i + P_j + D_k + e_{ijk} + T_l + D*T + elk$. Donde: Y_{ijkl} = variable dependiente, μ = media global, A_i = efecto aleatorio del animal ($i = 1$ a 5), P_j = efecto aleatorio del período ($j= 1$ a 5), D_k = efecto fijo del tratamiento ($k= 1$ a 5), e_{ijk} = error de tipo 1, T_l = efecto fijo del tiempo ($l= 1$ a 5) y elk = error de tipo 2. Las diferencias estadísticas se declararon en $P < 0.05$ y las tendencias se discutieron en $P \leq 0.10$.

Se utilizó la prueba de comparación de Tukey para comprobar diferencias entre medias ($P < 0.05$). Las medias se presentan como medias de mínimos cuadrados con EEM.

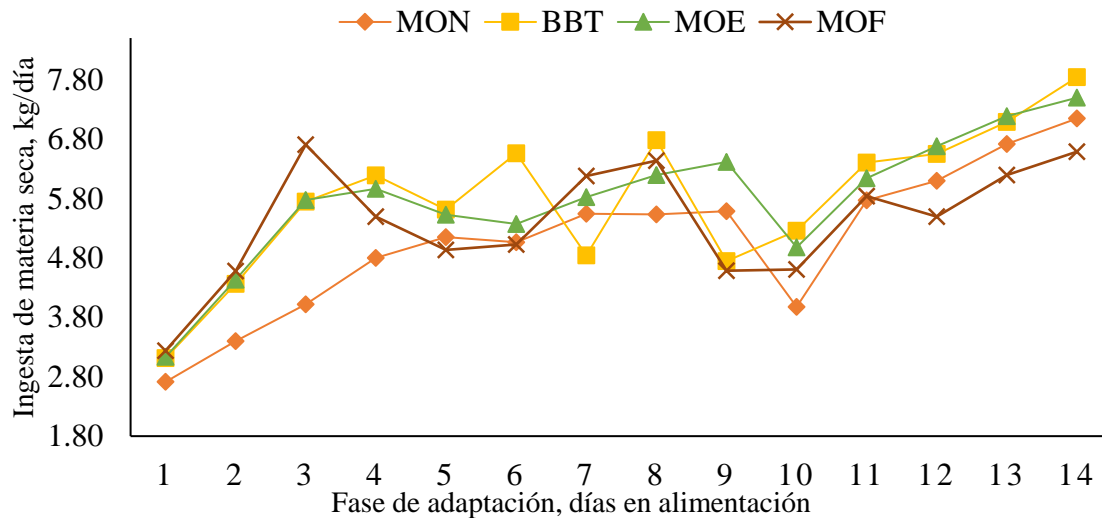
Resultados

Experimento 1

No hubo efecto del bloque para las variables estudiadas, y se consideró un efecto aleatorio. Los toros tuvieron un aumento continuo de la IMS a lo largo de la fase de adaptación y alcanzaron una IMS de 6.97 kg/toro el día 14 (Figura 1; tratamiento $P < 0.001$, EEM= 0.312;

día $P<0.001$; tratamiento \times día $P<0.001$). La IMS promedio general durante la fase de adaptación (es decir, día 1 al 14) fue de 4.80, 5.54, 5.54 y 5.51 kg para MON, BBT, MAE y MAF, respectivamente. Durante todo el período de alimentación (es decir, día 1 al 104), la IMS de los toros alimentados con MON fue un 16, 13 y 9 % más baja que BBT, MAE y MAF, respectivamente (Cuadro 2). No se observaron cambios ($P>0.05$) en el PC final (media general de 486 kg), GDP (media general de 1.42 kg) y las características de la canal (Cuadro 2). La eficiencia alimenticia de los toros alimentados con MON fue 13 %, 11 % y 4 % mayor que BBT, MAE y MAF, respectivamente ($P<0.05$; Cuadro 2).

Figura 1: Ingesta de materia seca (IMS, kg/día) de toros *Bos indicus* a lo largo de la fase de adaptación (día 1–14) a una dieta de finalización (20:80, relación de forraje [bagazo de caña de azúcar] a concentrado)



MON= 30 mg/kg [Rumensin-200]; BBT= 1,500 mg/kg de extracto de barbatimão [*Stryphnodendron adstringens*]; MAE= 118 mg/kg de la mezcla de aceites esenciales; MAF= 250 mg/kg de la mezcla de aceites funcionales.

Tratamiento $P<0.001$ (EEM= 0.312); día $P<0.001$; tratamiento \times día $P<0.001$.

Cuadro 2: Ingesta de materia seca, rendimiento de crecimiento y características de la canal de toros *Bos indicus* alimentados con una dieta de finalización que contenía monensina y aditivos alimentarios antimicrobianos fitogénicos

	Aditivo alimentario				EEM	Valor de P
	MON	BBT	MAE	MAF		
Ingesta de materia seca:						
día 1 al 104						
kg/día	7.57 ^c	9.03 ^a	8.75 ^{ab}	8.28 ^b	0.127	<0.001
% de PC	1.85 ^c	2.20 ^a	2.13 ^a	2.01 ^b	0.026	<0.001
Rendimiento de crecimiento:						
Peso corporal, kg						
Inicial (día 1)	336	336	335	335	0.2	0.358
Final (día 104)	482	485	487	489	3.9	0.599
GDP, kg/día	1.39	1.42	1.44	1.46	0.037	0.524
Eficiencia alimenticia	0.184 ^a	0.160 ^b	0.164 ^b	0.176 ^{ab}	0.005	0.010
Características de la canal:						
Peso de la canal caliente, kg	271.2	273.8	274.7	276.1	1.72	0.279
Rendimiento de la canal ¹	56.2	56.5	56.4	56.4	0.28	0.942
Grosor de la grasa dorsal, mm	3.14	2.60	2.79	2.82	0.221	0.418

MON= 30 mg/kg de monensina (Rumensin-200; BBT= 1,500 mg/kg de extracto de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*); MAE= 118 mg/kg de la mezcla de aceites esenciales; MAF= 250 mg/kg de la mezcla de aceites funcionales.

¹ Calculado dividiendo el peso de la canal caliente por el peso corporal final (día 104).

^{a-c} Las medias dentro de las filas que no tienen un superíndice común difieren ($P < 0.05$).

Experimento 2

La ingesta y la digestibilidad aparente en todo el tracto de los nutrientes no difirieron entre los aditivos alimentarios ($P > 0.05$), excepto que la digestibilidad de la FDA tendió ($P = 0.084$) a ser mayor para MON y MAF que para otros aditivos (Cuadro 3). Los valores de pH más bajos y altos se observaron para BBT (6.54) y MAF (6.75), respectivamente ($P < 0.05$; Cuadro 4). La concentración de valerato fue 19 % mayor para BBT y MAE en comparación con MON ($P < 0.05$). Las concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$, AGV totales, acetato, propionato, butirato, isobutirato e isovalerato fueron similares entre los aditivos alimentarios ($P > 0.05$; Cuadro 4).

Cuadro 3: Ingesta y digestibilidad aparente en todo el tracto de los nutrientes de una dieta de finalización (relación forraje/concentrado 20:80) que contiene aditivos alimentarios antimicrobianos proporcionados a novillos *Bos indicus*

	Aditivo alimentario					EEM	Valor de <i>P</i>
	CTL	MON	BBT	MAE	MAF		
Ingesta, kg/día:							
Materia seca	6.51	7.04	7.12	5.94	7.21	0.713	0.559
Materia orgánica	6.28	6.78	6.86	5.73	6.96	0.685	0.558
Proteína cruda	1.01	1.06	1.20	0.98	1.12	0.116	0.619
FDN	2.29	2.52	2.45	2.12	2.60	0.245	0.530
FDA	1.27	1.38	1.33	1.12	1.42	0.143	0.460
Hemicelulosa	1.02	1.14	1.12	1.01	1.17	0.118	0.711
Excreción fecal							
kg MS/día	2.74	2.07	2.50	2.46	2.53	0.217	0.234
Digestibilidad, g/g							
Materia seca	0.57	0.69	0.64	0.57	0.65	0.041	0.166
Materia orgánica	0.59	0.71	0.66	0.60	0.67	0.039	0.162
Proteína cruda	0.76	0.78	0.78	0.75	0.76	0.027	0.771
FDN	0.49	0.60	0.55	0.49	0.60	0.063	0.437
FDA	0.43	0.58	0.51	0.42	0.57	0.051	0.084
Hemicelulosa	0.56	0.63	0.60	0.56	0.63	0.090	0.924

CTL= sin aditivo; MON= 30 mg/kg de monensina; BBT= 1,500 mg/kg de extracto de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*); MAE= 118 mg/kg de la mezcla de aceites esenciales y extracto de pimienta; MAF= 250 mg/kg de la mezcla de aceites funcionales.

Cuadro 4: Características de la fermentación ruminal de novillos *Bos indicus* alimentados con una dieta de finalización (relación forraje/concentrado 20:80) que contiene aditivos alimentarios antimicrobianos

	Aditivo alimentario					EEM	Valor de P
	CTL	MON	BBT	MAE	MAF		
Rumen, pH	6.69 ^{ab}	6.59 ^{ab}	6.54 ^b	6.66 ^{ab}	6.75 ^a	0.050	0.042
NH ₃ -N, mg/dl	13.62	10.17	11.88	12.59	11.51	1.943	0.713
AGV, mM							
Total	38.20	42.72	52.88	51.97	47.98	6.199	0.234
Acetato (C ₂)	24.10	27.26	34.63	33.87	30.74	4.144	0.297
Propionato (C ₃)	7.33	9.46	9.95	10.63	9.85	1.728	0.685
C ₂ :C ₃	3.46	3.13	3.53	3.31	3.46	0.139	0.225
Butirato	4.58	4.64	6.04	5.30	5.24	0.507	0.200
Isobutirato	0.51	0.47	0.56	0.52	0.51	0.025	0.168
Valerato	0.78 ^{ab}	0.68 ^b	0.81 ^a	0.81 ^a	0.72 ^{ab}	0.028	0.009
Isovalerato	0.89	0.84	0.88	0.85	0.83	0.036	0.707

CTL= sin aditivo; MON= 30 mg/kg de monensina; BBT= 1,500 mg/kg de extracto de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*); MAE= 118 mg/kg de la mezcla de aceites esenciales y extracto de pimienta; MAF= 250 mg/kg de la mezcla de aceites funcionales.

^{a-b} Las medias dentro de las filas que no tienen un superíndice común difieren ($P < 0.05$).

Discusión

No se incluyó una dieta control sin aditivos en el experimento de rendimiento del crecimiento debido a la preocupación de que el ganado no suplementado con aditivos alimentarios antimicrobianos estaría expuesto al riesgo de problemas de salud asociados con la acidosis (p. ej., rumenitis, paraqueratosis, abscesos hepáticos, laminitis y polioencefalomalacia). Los ionóforos mejoran la eficiencia alimenticia y reducen la incidencia de trastornos digestivos, como la acidosis, en rumiantes⁽¹⁵⁾. La monensina es un ionóforo ampliamente estudiado y utilizado en la producción animal y se consideró adecuado para probar la hipótesis del presente estudio.

El aumento continuo de la IMS a lo largo de los días 1 a 14 de alimentación indica que el protocolo de adaptación fue adecuado y los toros parecían estar adaptados a la dieta de finalización. El día 14, los toros habían alcanzado el 83 % (6.97 kg/día) de la IMS promedio general de todo el período de alimentación (8.41 kg/día). El aumento satisfactorio en la IMS es particularmente crítico porque las respuestas observadas en la fase de adaptación pueden imponer consecuencias a largo plazo y afectar el rendimiento del crecimiento del ganado hasta el final del experimento. La reducción de la IMS de los toros alimentados con MON

observada durante todo el período de alimentación (es decir, día 1 al 104) puede atribuirse a las acciones biológicas de los ionóforos (p. ej., mejora del metabolismo de la energía y del nitrógeno), que han sido bien documentadas en investigaciones previas de aditivos fitogénicos en comparación con la monensina^(16,17,18). Sin embargo, investigaciones previas no habían mostrado cambios en la IMS del ganado en finalización cuando se comparó la monensina con taninos condensados⁽¹⁹⁾, una mezcla de aceites esenciales similar al estudio actual⁽²⁰⁾ y una mezcla de aceites funcionales (aceite de ricino y líquido de cáscara de anacardo^(21,22)).

Respuestas similares observadas en GDP, PC final y características de la canal, que también fueron reportadas por Araujo *et al*⁽²⁰⁾ en un estudio con MON y MAE (n= 656 novillos), son evidencia de que los compuestos naturales presentes en los productos fitogénicos representan alternativas seguras para reemplazar los antibióticos actualmente utilizados en la nutrición animal. Sin embargo, la menor IMS del ganado alimentado con MON condujo a la mayor eficiencia alimenticia en el presente estudio. También se observó cuando se comparó MON con una mezcla diferente de aceites esenciales (timol, eugenol, vainillina, guayacol y limoneno⁽²²⁾) y aceites funcionales (aceite de ricino y líquido de cáscara de anacardo⁽²⁰⁾).

Los aditivos alimentarios no cambiaron la IMS en el ensayo de metabolismo (es decir, Exp. 2). La IMS promedio general fue menor en el Exp. 2 que los valores registrados para los toros en el ensayo de rendimiento de crecimiento (6.85 vs 8.41 kg/día, respectivamente). Numerosos aspectos, como el diseño experimental (cuadrado latino vs. diseño de bloques al azar), el alojamiento (individualmente vs grupo), la clase sexual (novillos vs toros) y el peso corporal inicial (275 vs 336 kg), habrían explicado la discrepancia en la IMS entre los ensayos. De manera similar a este estudio, la ausencia de cambios en la digestibilidad aparente de los nutrientes fue reportada para MON en comparación con las mezclas de aceites esenciales por Benchaar *et al*⁽¹⁶⁾ (timol, eugenol, vainillina y limoneno) y Meyer *et al*⁽²¹⁾ (timol, eugenol, vainillina, guayacol y limoneno). Las posibles causas que explican esta respuesta no están claras. No obstante, la ausencia de efectos sobre la digestibilidad aparente de los nutrientes en todo el tracto podría haber reflejado grandes variaciones entre animales y de un día para otro.

El pH ruminal varía de 5.8 a 6.5 en el ganado adaptado al grano, y los valores de 5.6 y 5.0 son puntos de referencia para acidosis crónica (es decir, subaguda) y aguda, respectivamente⁽²³⁾. El nivel relativamente alto de inclusión de forraje (es decir, 200 g/kg MS de bagazo de caña de azúcar) en la dieta de finalización podría haber contribuido a mantener el pH ruminal por encima de 6.5 y evitar trastornos digestivos. El bagazo de caña de azúcar contiene 758 ± 112 g/kg de FDN (NASEM⁽⁷⁾); 837 g/kg de FDN en el presente estudio), y un tamaño de partícula promedio de 13.5 mm y una distribución de tamaño de partícula de 70 % > 8.0 mm utilizando el separador de partículas de Penn State⁽²⁴⁾.

El valor de pH más bajo se observó para BBT (6.54), lo que sugiere que el ganado podría no haber experimentado acidosis. Dicha respuesta podría deberse a la inhibición de protozoos ciliados por taninos condensados⁽²⁵⁾, aunque no fue medida formalmente en el presente estudio. Los protozoos ruminales engullen partículas de almidón y almacenan glucosa en forma de polisacáridos, retrasando la fermentación del almidón por bacterias, que retardan la producción de ácido y estabilizan la fermentación ruminal⁽²⁶⁾. Los taninos actúan directamente sobre el metabolismo microbiano a través de interacciones con la pared celular e indirectamente inhibiendo las enzimas microbianas o uniéndose a componentes de la dieta, como proteínas y carbohidratos, evitando la degradación de los sustratos por los microorganismos ruminales⁽²⁷⁾. Sin embargo, los protozoos ruminales también son sensibles a la monensina^(16,28) y a los aceites funcionales como el líquido de cáscara de anacardo⁽²⁹⁾ y una mezcla de aceite de ricino con líquido de cáscara de anacardo⁽²²⁾. Los protozoos ruminales parecieron no ser sensibles a una mezcla de aceites esenciales similar a la del presente estudio, que se suplementó a un nivel ligeramente superior (150 vs 118 mg/kg MS en el presente estudio) a las vacas lecheras alimentadas con una dieta con una proporción de forraje a concentrado de 51:49⁽³⁰⁾. Un meta-análisis realizado por Khiaosa-ard y Zebeli⁽³¹⁾ mostró que solamente dosis altas (>200 mg/kg MS) de aceites esenciales y sus compuestos bioactivos tenían un efecto inhibitor en los protozoos ruminales.

Debido a que el rumen es un ambiente altamente complejo y competitivo, la inhibición de las bacterias Gram-positivas conduce a la proliferación de bacterias Gram-negativas, que son más propensas a producir propionato, modificando las proporciones de AGV ruminales y otros productos de fermentación⁽²⁸⁾. Se ha demostrado que las bacterias Gram-positivas (p. ej., las bacterias hiperproductoras de amoníaco y celulolíticas) son sensibles a la monensina⁽²⁸⁾ y a extractos de plantas como los taninos condensados^(25,32), una mezcla de aceites esenciales⁽³³⁾, una mezcla de los aceites funcionales aceite de ricino y líquido de cáscara de anacardo⁽²²⁾, y líquido de cáscara de anacardo⁽¹⁾ y aceites de copaiba⁽³⁴⁾ de forma individual. No obstante, en el presente estudio no se observaron cambios en la concentración de NH₃-N y AGV, excepto para el valerato. La actividad antimicrobiana de muchos extractos de plantas puede depender del pH. El pH bajo (5.5) aumenta la proporción de formas hidrofóbicas no disociadas de las moléculas activas (mejorando las interacciones con las paredes celulares bacterianas) y la susceptibilidad de poblaciones microbianas específicas como las bacterias Gram-positivas. Cardozo *et al*⁽³⁵⁾ no reportaron cambios beneficiosos en la fermentación ruminal a un pH de 7.0 (la media general fue de 6.64 en el experimento actual).

El ácido valérico se construye principalmente a partir de los productos de catabolismo del aminoácido prolina, y mejora la digestión de la celulosa por los microorganismos del rumen^(36,37). Las causas del aumento de valerato sin cambios en la digestibilidad de la FDN observados para BBT y MAE no están claras. La información sobre los productos

intermedios formados en el catabolismo de los taninos condensados y aceites esenciales específicos por los microorganismos ruminales aún es escasa. A diferencia de los hallazgos reportados en el presente estudio, Castillejos *et al*⁽³⁸⁾ observaron que la monensina aumentó la concentración de valerato en comparación con los aceites esenciales al evaluar una dieta de 10:90 (relación forraje/concentrado). No hay evidencia en la literatura de que la degradación de los taninos y los aceites esenciales pueda impulsar el aumento de la concentración de valerato. Además, las inconsistencias dentro de la literatura y entre las respuestas observadas en el presente estudio y las investigaciones anteriores probablemente reflejen la naturaleza variable de los productos fitogénicos, los niveles de suplementación, las condiciones experimentales, así como la complejidad de las posibles interacciones del microbioma ruminal con los compuestos bioactivos y los componentes de los piensos.

Conclusiones e implicaciones

En el manejo que involucró el uso de monensina, se observó una mejor eficiencia alimenticia. Por lo tanto, incluso generando valores de canal similares a otras prácticas de manejo que involucran el uso de otros aditivos, el uso de monensina puede optimizar la producción de productos de alto valor, como la carne.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal y a los pasantes del Corral de Engorda Experimental de Ganado para Carne, a los estudiantes graduados y a los técnicos de laboratorio del Departamento de Ciencia Animal de EVZ/UFG por su ayuda con la alimentación y el manejo del ganado y los análisis de muestras. Los autores también agradecen al Dr. Rafael C. Araujo (GRASP Ind. & Com. LTDA, Curitiba, PR, Brasil) por las críticas y comentarios para mejorar el manuscrito. El primer autor recibió una beca de la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES, por sus siglas en portugués) y del Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Literatura citada:

1. Oh S, Suzuki Y, Hayashi S, Koike S, Kobayashi Y. Potency of cashew nut shell liquid in rumen modulation under different dietary conditions and indication of its surfactant action against rumen bacteria. *J Anim Sci Technol* 2017;59-27.

2. Reddy PRK, Elghandour MMY, Salem AZM, Yasaswini D, Reddy PPR, Reddy AN, Hyder I. Plant secondary metabolites as feed additives in calves for antimicrobial stewardship. *Anim Feed Sci Technol* 2020;264:114469.
3. Hagerman AE, Butler LG. Protein precipitation method for the quantitative determination of tannins. *J Agric Food Chem* 1978;26:809-812.
4. Lemos BJM, Souza FM, Arnhold E, Conceição EC, Couto VRM, Fernandes JJR. Effects of plant extracts from *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville, *Lafoensia pacari* A. St.-Hil., *Copaifera* spp., and *Pterodon emarginatus* Vogel on *in vitro* rumen fermentation. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2021;00:1-14.
5. Wink M. Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. *Medicines* 2015;2:251-286.
6. Murakami AE, Eyng C, Torrent J. Effects of functional oils on coccidiosis and apparent metabolizable energy in broiler chickens. *Asian-Australas J Anim Sci* 2014;27:981-989.
7. Sousa JN, Pedroso NB, Borges LL, Oliveira GAR, Paula JR, Conceição EC. Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenols, tannins and epigallocatechin gallate from barks of *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville bark extracts. *Pharmacogn Mag* 2014;10:S318–S323.
8. NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine). Nutrient requirements of beef cattle. 8th ed. Washington: National Academies Press; 2016.
9. AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International (OMA). Gaithersburg: AOAC International; 2005.
10. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991;74:3583-3597.
11. Arnhold E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. *Braz J Vet Res Anim Sci* 2013;50:488-492.
12. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2019.
13. Williams CH, David DJ, Iismaa O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. *J Agric Sci* 1962;59:381-385.
14. Erwin ES, Marco GJ, Emery EM. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J Dairy Sci* 1961;44:1768-1771.

15. Chaney AL, Marbach EP. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin Chem* 1962;8:130-132.
16. Bergen WG, Bates DG. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. *J Anim Sci* 1984;58:1465-1483.
17. Benchaar C, Duynisveld JL, Charmley E. Effects of monensin and increasing dose levels of a mixture of essential oil compounds on intake, digestion and growth performance of beef cattle. *Can J Anim Sci* 2006;86:91-96.
18. Fandiño I, Calsamiglia S, Ferret A, Blanch M. Anise and capsicum as alternatives to monensin to modify rumen fermentation in beef heifers fed a high concentrate diet. *Anim Feed Sci Technol* 2008;145:409-417.
19. Wu J, Bai Y, Lang X, Wang C, Shi X, Casper DP, Zhang L, Liu H, Liu T, Gong X, Liang T, Zhang R. Dietary supplementation with oregano essential oil and monensin in combination is antagonistic to growth performance of yearling Holstein bulls. *J Dairy Sci* 2020;103:8119-8129.
20. Araujo RC, Daley DR, Goodall SR, Jalali S, Guimarães Bisneto OA, Budde AM, *et al.* Effects of a microencapsulated blend of essential oils supplemented alone or in combination with monensin on performance and carcass characteristics of growing and finishing beef steers. *Appl Anim Sci* 2019;35:177-184.
21. Purevjav T, Hoffman MP, Ishdorj A, Conover AJ, Jedlicka ME, Prusa K, Torrent J, Pusillo GM. Effects of functional oils and monensin on cattle finishing programs. *Prof Anim Sci* 2013;29:426-434.
22. Meyer NF, Erickson GE, Klopfenstein TJ, Greenquist MA, Luebke MK, Williams P, Engstrom MA. Effect of essential oils, tylosin, and monensin on finishing steer performance, carcass characteristics, liver abscesses, ruminal fermentation, and digestibility. *J Anim Sci* 2009;87:2346-2354.
23. Zotti CA, Silva AP, Carvalho R, Marino CT, Rodrigues PHM, Silva LFP, *et al.* Monensin and a blend of castor oil and cashew nut shell liquid used in a high-concentrate diet abruptly fed to Nellore cattle. *J Anim Sci* 2017;95:4124-4138.
24. Nagaraja TG, Titgemeyer EC. Ruminal acidosis in beef cattle: the current microbiological and nutritional outlook. *J Dairy Sci* 2007;90:(E.Suppl.).
25. Marques RS, Chagas LJ, Owens FN, Santos FAP. Effects of various roughage levels with whole flint corn grain on performance of finishing cattle. *J Anim Sci* 2016;94:339-348.

26. Vasta V, Daghighi M, Cappucci A, Buccioni A, Serra A, Viti C, Mele M. Invited review: plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: experimental evidence and methodological approaches. *J Dairy Sci* 2019;102:3781-3804.
27. Huntington GB. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J Anim Sci* 1997;75:852-867.
28. Scalbert A. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochem* 1991;30:3875-3883.
29. Russel JB, Houlihan AJ. Ionophore resistance of ruminal bacteria and its potential impact on human health. *FEMS Microbiol Rev* 2003;27:65-74.
30. Watanabe Y, Suzuki R, Koike S, Nagashima K, Mochizuki M, Forster RJ, Kobayashi Y. *In vitro* evaluation of cashew nut shell liquid as a methane-inhibiting and propionate-enhancing agent for ruminants. *J Dairy Sci* 2010;93:5258-5267.
31. Silva RB, Pereira MN, Araujo RC, Silva WR, Pereira RAN. A blend of essential oils improved feed efficiency and affected ruminal and systemic variables of dairy cows. *Transl Anim Sci* 2020;4:182-193.
32. Khiaosa-ard R, Zebeli Q. Meta-analysis of the effects of essential oils and their bioactive compounds on rumen fermentation characteristics and feed efficiency in ruminants. *J Anim Sci* 2013;91:1819-1830.
33. Waghorn G. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production—Progress and challenges. *Anim Feed Sci Technol* 2008;147:116-139.
34. McIntosh FM, Williams P, Losa R, Wallace RJ, Beever DA, Newbold CJ. Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism. *Appl Environ Microbiol* 2003;69:5011-5014.
35. Santos AO, Ueda-Nakamura T, Dias Filho BP, Veiga Jr VF, Pinto AC, Nakamura CV. Antimicrobial activity of Brazilian copaiba oils obtained from different species of the *Copaifera* genus. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2008;103:277-281.
36. Cardozo PW, Calsamiglia S, Ferret A, Kamel C. Screening for the effects of natural plant extracts at different pH on *in vitro* rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet for beef cattle. *J Anim Sci* 2005;83:2572-2579
36. Dehority BA, Johnson RR, Bentley OG, Moxon AL. Studies on the metabolism of valine, proline, leucine and isoleucine by rumen microorganisms *in vitro*. *Arch Biochem Biophys* 1958;78:15-27.

37. Amos HE, Little CO, Mitchell GE. Proline utilization during cellulose fermentation by rumen microorganisms. *J Agric Food Chem* 1971;19:112-115.
38. Castillejos L, Calsamiglia S, Martín-Tereso J, Wijlen HT. *In vitro* evaluation of effects of ten essential oils at three doses on ruminal fermentation of high concentrate feedlot-type diets. *Anim Feed Sci Technol* 2008;145:259-270.