

Composición química y producción de biogás *in vitro* en híbridos *Urochloa* durante las lluvias

Chemical composition and *in vitro* biogas production in *Urochloa* hybrids during rains

Eliud Flores-Morales¹ , Serafín Jacobo López-Garrido^{1*} , Mónica Marcela Galicia-Jiménez¹ , Narciso Ysac Ávila-Serrano¹ , Marco Antonio Camacho-Escobar¹ , Oziel Dante Montañez-Valdez² 

¹Posgrado en Producción y Sanidad Animal. Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido, Oaxaca. Carretera a Oaxaca vía Sola de Vega Km 1.5. CP. 71980. Puerto Escondido, Juquila Oaxaca, México.

²Grupo de Investigación en Nutrición Animal. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Sur. CP. 49000. Ciudad Guzmán, Jalisco, México.

*Autor de correspondencia: serafin@aulavirtual.umar.mx

Artículo científico

Recibido: 18 de marzo 2024

Aceptado: 21 de agosto 2025

RESUMEN. El objetivo fue determinar el rendimiento de materia seca (MS) ha⁻¹, composición química, degradabilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS), producción de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) en dos cultivares Cayman (BR/1752) y Cobra (BR/1794) del género *Urochloa* durante las lluvias. La proteína cruda (PC), celulosa (CEL), hemicelulosa (HEM), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinó. Además, se evaluó DIVMS, pH, producción de CH₄ y CO₂ y ácidos grasos volátiles (AGV) a 72 h. Se utilizó un diseño completamente al azar con dos cultivares y cuatro tratamientos considerados los días de cosecha 28, 35, 42 y 49. Las medias se analizaron mediante la prueba Tukey (P < 0.05). La PC fue mayor (P < 0.05) a 28 y 35 días de cosecha. La FDA en Cobra fue diferente (P < 0.05) en las edades de cosecha, en Cayman fue menor (P < 0.05) a 28 días. La DIVMS en Cobra fue mayor (P < 0.05) a 28 y 35 días. El pH fue similar en ambos cultivares. La concentración de AGV total fue diferente (P < 0.05) en ambos cultivares en los días de cosecha, la concentración de acetato fue diferente (P < 0.05) en Cobra en las edades de cosecha, propionato presentó diferencias (P < 0.05) en ambos cultivares, siendo mayor a 49 días. La menor producción de CH₄ y CO₂ (P < 0.05) se registró a 28 días en ambos cultivares. Se concluye, la mejor edad de cosecha para los cultivares evaluados es a 28 días y 35 días; porque contienen mayor porcentaje de proteína y menor producción de metano.

Palabras clave: Cobra, Cayman, edad de cosecha, fermentación, metano.

ABSTRACT. The objective was to determine the dry matter (DM) yield ha⁻¹, chemical composition, *in vitro* dry matter degradability (IVDMD), methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) production in two *Urochloa* cultivars, Cayman (BR/1752) and Cobra (BR/1794), during the rainy season. Crude protein (CP), cellulose (CEL), hemicellulose (HEM), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) were determined. Additionally, IVDMD, pH, CH₄ and CO₂ production, and volatile fatty acids (VFA) were evaluated at 72 h. A completely randomized design was used with two cultivars and four treatments, corresponding to harvest days at 28, 35, 42, and 49 days. Means were analyzed using Tukey's test (P < 0.05). Crude protein was higher (P < 0.05) at 28 and 35 days of harvest. ADF content in Cobra differed (P < 0.05) across harvest ages, while in Cayman it was lower (P < 0.05) at 28 days. IVDMD in Cobra was higher (P < 0.05) at 28 and 35 days. pH was similar in both cultivars. Total VFA concentration differed (P < 0.05) between cultivars across harvest days; acetate concentration differed (P < 0.05) in Cobra across harvest ages; propionate showed differences (P < 0.05) in both cultivars, being highest at 49 days. The lowest CH₄ and CO₂ production (P < 0.05) was recorded at 28 days in both cultivars. It is concluded that the optimal harvest age for the evaluated cultivars is 28 and 35 days, due to higher protein content and lower methane production.

Keywords: Cobra, Cayman, harvest age, fermentation, methane.

Como citar: Flores-Morales E, López-Garrido SJ, Galicia-Jiménez MM, Ávila-Serrano NY, Camacho-Escobar MA, Montañez-Valdez OD (2025) Composición química y producción de biogás *in vitro* en híbridos *Urochloa* durante las lluvias. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(3): e4070. DOI: 10.19136/era.a12n3.4070.

INTRODUCCIÓN

Las gramíneas forrajeras en el trópico son la base de la nutrición del ganado. Estas se consideran fuentes de energía a bajo costo; además, proporcionan la fibra necesaria para el mantenimiento de la función ruminal y de la producción en general (Muñoz-González *et al.* 2016). Las gramíneas aportan más de 60% de los nutrientes requeridos para mantenimiento y producción de los rumiantes, son la opción más económica para la alimentación de los bovinos. Las plantas forrajeras no compiten con la alimentación de la humanidad, generalmente los forrajes se producen en tierras poco productivas y no aptas para la agricultura. La producción de forrajes está determinada por las condiciones climáticas que limitan y modifican su potencial (Rojas-García *et al.* 2018); lo cual ocasiona baja producción de biomasa en las praderas y como consecuencia afecta la producción animal. Esto se traduce en pérdidas económicas para los productores (Ledea-Rodríguez *et al.* 2018).

En anteriores años se seleccionaron diferentes genotipos de pastos mejorados del género *Urochloa*, que fueron modificados genéticamente para ser introducidos y adaptarse a distintos climas y sistemas de producción ganadera como fuentes de forraje. Los híbridos de nueva generación del género *Urochloa* son Cayman (BR/1752) y Cobra (BR/1794), que muestran excelentes rendimientos en producción de biomasa y buena adaptabilidad a las condiciones climáticas de las regiones tropicales del mundo. Investigaciones realizadas en Asia (Hare *et al.* 2009), África, Centro y Sudamérica (Vendremini 2014) demostraron que estos híbridos presentan alta tolerancia a periodos prolongados de encharcamiento y sequía, buena producción de biomasa, mayor digestibilidad y mayor porcentaje de proteína cruda, superando a otros pastos tropicales. Sobre lo mismo Garay-Martínez *et al.* (2018) evaluaron los cultivares Cayman, Cobra y Mulato II en época de lluvia y reportaron rendimientos de 9 000 a 10 000 kg MS ha⁻¹. También se reporta que pueden crecer en suelos alcalinos o moderadamente salinos (López-Garrido *et al.* 2022). Además, los híbridos Cayman y Cobra tienen mayor rendimiento de materia seca, mayor degradabilidad ruminal y porcentaje de proteína cruda, en comparación con otras *Brachiarias* (Dongxia *et al.* 2019). Las investigaciones sobre la producción de biogás, particularmente la producción de CH₄ *in vitro* complementan la información nutrimental de estos forrajes, esta información es útil para entender la cinética de la degradación y fermentación de los forrajes en rumen. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la composición química, la fermentación y la producción de gas *in vitro* de los cultivares Cayman y Cobra del género *Urochloa*, a diferentes edades de corte, en la época de lluvia en la costa de Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Microbiología, Bioquímica y Nutrición y el área de Cultivos Forrajeros del Campo Experimental de la Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido. Estos se localizan en Bajos de Chila, municipio de San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca. Las coordenadas son 15° 55' 27.54" N y 97° 09' 04.09" O, con altitud de 12 m. El clima predominante es cálido subhúmedo, del tipo A(c), con dos estaciones lluviosa (de junio a septiembre) y seca (de noviembre a mayo), con precipitación pluvial de 930.8 a 1 668 mm anuales

y temperatura promedio de 26°C (Serrano-Altamirano *et al.* 2005). El análisis químico de las muestras se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Ciencias Básicas Para la Salud, de la Universidad de Guadalajara. Centro Universitario del Sur - Ciudad Guzmán, Jalisco. México. Los análisis de AGV, CH₄ y CO₂ fueron realizados en los Laboratorios de Microbiología Ruminal y Genética Microbiana del Colegio de Postgraduados, México.

Obtención de muestras y tratamientos experimentales

Los pastos Cayman y Cobra se establecieron en una superficie de 480 m². La siembra se realizó con semilla certificada (PAPALOTLA®) de forma manual a chorro con distancia entre surco de 50 cm. La superficie se dividió en ocho parcelas con superficie de 60 m² cada una. Se consideró área útil de 1 m² seleccionado al azar tres repeticiones dentro de la misma parcela.

Rendimiento de materia seca por hectárea

Para determinar el rendimiento de la materia seca por hectárea de cada cultivar, se determinó el peso seco de las plantas cosechadas a 28, 35, 42 y 49 días, se consideró un área de 1 m² seleccionado al azar tres repeticiones dentro de la misma parcela, posteriormente se pesaron en balanza analítica (Denver Instrument, modelo TP-214); luego fueron colocados en estufa de secado a 65 °C por 48 h y se registró su peso seco. Durante el crecimiento de los pastos se realizó el control de malezas y se aplicó dosis única de urea (50 kg ha⁻¹) como fuente de nitrógeno, se efectuaron riegos auxiliares una vez por semana. Se realizó un corte a 90 días después de la siembra a una altura de 10 cm del suelo. Cada cultivar se analizó por separado mediante cuatro tratamientos que fueron los días de cosecha 28, 35, 42 y 49, se realizaron tres repeticiones por tratamiento.

Determinación de la composición química

A las muestras de los forrajes se les determinó contenido de materia seca (MS) en horno de secado (Felisa®, México) a 65 °C durante 48 h (Herrera 2014). Las muestras se procesaron en molino tipo industrial (Ika® Werker MF 10. U.S.A.) y tamizadas con malla de 1 mm (Williams 2000). También se determinó el porcentaje de proteína cruda (PC método 984.13) por el método de Kjendahl (AOAC 1997); fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), contenido de celulosa y hemicelulosa de acuerdo con la metodología reportada por Van-Soest *et al.* (1991).

Fermentación ruminal *in vitro*

Preparación de los medios de cultivo

Para determinar la degradabilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), pH, concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), producción de biogás (CH₄ y CO₂), se utilizó el medio de cultivo para microorganismos ruminales que contenían los siguientes componentes por cada 100 mL de medio: glucosa 0.06 g, celobiosa 0.06 g, almidón 0.06 g, tripticasa peptona 0.20 g, extracto de levadura 0.10 g, solución mineral I y II 5 mL de cada una, carbonato de sodio 5 mL y fluido ruminal clarificado 30 mL (GCA-FR), el cual se elaboró de acuerdo con Cobos-Peralta y Yokoyama (1995). La fuente de inóculo fue fluido ruminal fresco extraído de un bovino adulto cruza de Cebú × Pardo Suizo, provisto de cánula ruminal, 2 h posteriores de haber sido alimentado con una dieta que contenía 90% de forraje y 10% de alimento concentrado que contenía 14% de proteína y 2.6 Mcal de energía

metabolizable. El manejo del bovino se realizó con base al reglamento del uso de animales con fines de investigación de la Universidad del Mar, con fundamento en la NOM-024-ZOO-1995.

Degradabilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

Se utilizaron 0.5 g de MS de cada muestra obtenida y fueron agregadas por triplicado en viales serológicos de 120 mL de capacidad. A cada vial se le agregaron 45 mL de medio de cultivo estéril para microorganismos ruminales (GCA-FR) reportada por Cobos-Peralta y Yokoyama (1995). Los viales fueron inoculados con 5 mL de fluido ruminal fresco filtrado con manta a cuatro capas, con flujo constante de CO₂. Cada vial se consideró un biofermentador y una unidad experimental. La DIVMS se determinó a 72 h de incubación. La DIVMS se evaluó por diferencia de peso de acuerdo con las técnicas reportadas por Mellenberger *et al.* (1970).

Determinación de pH

A las 72 h de incubación se midió el pH del medio de los biofermentadores con potenciómetro portátil (Orion®, U.S.A.), calibrado a pH 4 y 7.

Ácidos Grasos Volátiles (AGV)

Después de 72 h de incubación las muestras de los biodigestores fueron depositadas en viales Eppendorf® (U.S.A.) de 2 mL, con ácido meta-fosfórico (Merck®, U.S.A.) a 25% con proporción 4:1, y se congelaron a -4 °C. Posteriormente, se midió la concentración molar de los AGV de acuerdo con las técnicas reportadas por Erwin *et al.* (1961), utilizando cromatógrafo de gases (Perkin Elmer®, U.S.A.) con un detector de ionización con flama. Las condiciones de trabajo fueron: temperatura de horno 130 °C, y del inyector y la columna capilar (15 × 0.32 m) 250 °C. Los tiempos de retención fueron 1.26 min para acetato, 1.6 min propionato y 2.09 min butirato. Con los resultados de los AGV se determinó la relación Acetato:Propionato de las muestras.

Estimación de las emisiones de biogás (CH₄ y CO₂)

La producción de biogás se estimó mediante la técnica reportada por Krabill *et al.* (1969), modificada por Cobos *et al.* (2018). Los biofermentadores se colocaron en baño María a 39 °C, se conectaron con las trampas de captura de biogás por medio de manguera Tygon® con diámetro interior de 3/32". A la manguera se le colocaron dos agujas de calibre 20 GX1" una en cada extremo, en uno se colocó el biofermentador y en el otro extremo la trampa de captura de biogás, que consistió en un vial de 100 mL de capacidad que contenían solución salina ácida (400 g L⁻¹ de NaCl 2N hasta disminuir el pH a 2.0; además se le agregó 0.5% de naranja de metilo como indicador de pH). Las trampas fueron selladas con tapones de goma y arillos de aluminio y se colocó una aguja como válvula de liberación. Las trampas fueron colocadas en forma invertida en una probeta de plástico. El volumen de biogás se cuantificó a 6, 12, 24, 48 y 72 h de incubación. Las proporciones de CH₄ y CO₂ se determinaron a 72 h, para lo cual se tomó una muestra de 500 µL del biogás de las trampas y fue inyectado en cromatógrafo de gases (Perkin Elmer®, U.S.A.) provisto con un indicador de conductividad térmica y una columna empacada Poropack. Las condiciones de detección fueron las siguientes: temperaturas de horno 80 °C, columna empacada 170 °C y detector de conductividad térmica 130 °C; los tiempos de retención fueron 0.71 min y 1.005 min para CH₄ y CO₂, respectivamente. El gas transportador fue helio con una circulación de 23 mL minuto⁻¹.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, cada cultivar se analizó por separado, se evaluaron cuatro tratamientos que fueron los días de cosecha (28, 35, 42 y 49) con tres repeticiones por tratamiento. Para todas las variables evaluadas, el análisis de varianza se realizó con el paquete estadístico SAS (2011) y la comparación de medias a través del estadístico de prueba de Tukey $\alpha = 0.05$ (Steel y Torrie 1988).

RESULTADOS

En ambos cultivares el rendimiento de MS por hectárea no fue significativo ($P > 0.05$). En el cultivar Cobra se presentó disminución ($P < 0.05$) de la DIVMS conforme aumentaron los días de cosecha, mientras que para Cayman no se presentaron diferencias ($P > 0.05$) en las edades de cosecha. El porcentaje de PC registró disminución ($P < 0.05$) en ambos cultivares entre los 42 y 49 días a cosecha (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de la edad de cosecha en el contenido de MS, DIVMS y composición química de los cultivares Cayman y Cobra.

Cultivar	Composición química						
Días de cosecha	Kg de MS Ha ⁻¹ e	DIVMS	PC	FDN	FDA	HEM	CEL
Cobra							
28	2721.28 ^a	65.93 ^a	11.76 ^a	61.07 ^a	33.92 ^d	20.79 ^b	11.14 ^c
35	2674.05 ^a	64.05 ^a	11.67 ^a	61.50 ^a	37.02 ^c	23.62 ^a	12.31 ^b c
42	2580.68 ^a	59.11 ^b	10.25 ^a	61.04 ^a	43.86 ^a	23.71 ^a	13.02 ^{ab}
49	2799.04 ^a	58.71 ^b	8.41 ^b	61.23 ^a	40.99 ^b	24.57 ^a	14.02 ^a
MS Total	10 775.05	-	-	-	-	-	-
EE	163.24	0.97	0.33	0.51	0.45	0.38	0.27
Cayman							
28	2299.82 ^a	61.37 ^a	10.68 ^a	59.97 ^a	36.99 ^b	20.59 ^b	10.83 ^c
35	2332.72 ^a	63.26 ^a	9.47 ^{ab}	60.97 ^a	38.23 ^a	23.69 ^a	12.07 ^{bc}
42	2414.52 ^a	60.29 ^a	9.30 ^b	60.97 ^a	39.96 ^a	23.85 ^a	12.78 ^{ab}
49	2799.86 ^a	62.02 ^a	8.07 ^c	61.55 ^a	38.99 ^a	24.52 ^a	13.85 ^a
MS Total	9 846.92	-	-	-	-	-	-
EE	214.48	1.31	0.37	0.68	0.38	0.25	0.3

€ = Kilogramos de materia seca por hectárea, DIVMS = Porcentaje de degradabilidad *in vitro* de la materia seca, PC = Porcentaje de proteína cruda, FDN = Porcentaje de fibra detergente neutro, FDA = Porcentaje de fibra detergente ácido, HEM = Porcentaje de hemicelulosa, CEL = Porcentaje de celulosa, abc = En la columna indican diferencia estadística ($P < 0.05$) en la edad de cosecha dentro de cada cultivar, 28, 35, 42 y 49 = Edad en días de cosecha de los cultivares, EE = Error estándar.

El porcentaje de FDN no presentó diferencia ($P < 0.05$) en ambos cultivares en las edades de cosecha. El porcentaje de FDA en el cultivar Cobra fue mayor ($P < 0.05$) a los 42 y 49 días de cosecha, mientras que para el cultivar Cayman no se presentaron diferencias ($P > 0.05$) en las distintas edades de

cosecha. El contenido de hemicelulosa y celulosa en ambos cultivares aumentaron ($P < 0.05$) de los 35 a los 49 días de cosecha.

Después de la fermentación se midieron los valores de pH a 72 h de incubación, los cuales no mostraron diferencias ($P > 0.05$) en ambos cultivares a las distintas edades de cosecha (Tabla 2). La concentración de acetato reportó aumento ($P < 0.05$) en Cobra entre los 35 y 49 días de cosecha; mientras que en Cayman no se reportaron diferencias ($P < 0.05$) en las edades de cosecha. La concentración de propionato no presentó diferencia ($P > 0.05$) en Cobra a las distintas edades de cosecha, por otra parte, en Cayman fue mayor a los 42 y 49 días de cosecha. En la concentración de butirato en el cultivar Cobra no se presentaron diferencias ($P > 0.05$) a las distintas edades de cosecha, en contraste en el cultivar Cayman se registró menor producción ($P < 0.05$) a los 42 días de cosecha. La concentración de AGV total fue mayor ($P < 0.05$) en ambos cultivares a los 49 días de cosecha. En la relación Acetato:Propionato no se presentaron diferencias ($P > 0.05$) en Cobra a las distintas edades de cosecha, en contraste, fue menor ($P < 0.05$) en Cayman a los 42 y 49 días de cosecha.

Tabla 2. Concentración de AGV a 72 horas de incubación *in vitro* de los cultivares Cayman y Cobra a diferentes edades de cosecha.

Cultivar	pH	Ace	Prop	But	AGV Total	Ace:Pro
Días de cosecha		mM L ⁻¹	mM L ⁻¹	mM L ⁻¹	mM L ⁻¹	mM L ⁻¹
Cobra						
28	6.34 ^a	23.71 ^c	12.54 ^b	7.48 ^a	43.74 ^b	1.89 ^a
35	6.36 ^a	27.27 ^a	13.64 ^{ab}	8.33 ^a	49.25 ^a	2.01 ^a
42	6.31 ^a	24.09 ^b	13.76 ^{ab}	7.65 ^a	46.37 ^b	1.81 ^a
49	6.32 ^a	26.94 ^a	14.16 ^a	8.44 ^a	49.55 ^a	1.90 ^a
EE	0.07	0.25	0.32	0.26	0.58	0.05
Cayman						
28	6.34 ^a	24.76 ^a	11.60 ^b	8.05 ^a	44.92 ^{ab}	2.13 ^a
35	6.31 ^a	24.02 ^a	11.38 ^b	8.38 ^a	43.78 ^b	2.11 ^a
42	6.35 ^a	23.72 ^a	12.91 ^a	6.83 ^b	43.47 ^b	1.83 ^b
49	6.33 ^a	24.07 ^a	13.54 ^a	8.41 ^a	46.02 ^a	1.78 ^b
EE	0.05	0.26	0.18	0.21	0.48	0.03

pH = Valores de pH, Ace = Valores de acetato en mili Mol por Litro, Prop = Valores de propionato en mili Mol por Litro, But = Valores de butirato en mili Mol por Litro, AGV = Ácidos grasos volátiles totales en mili Mol por Litro, Ace:Pro = Relación acetato:Propionato en mili Mol por Litro, ab = Literales diferentes en la misma columna indican diferencia ($P < 0.05$) en la edad de cosecha dentro del cultivar, 28, 35, 42 y 49 = Edad en días de cosecha de los cultivares, EE = Error estándar.

En la fermentación ruminal *in vitro*, la producción de biogás en ambos cultivares Cobra y Cayman, no mostraron diferencias ($P > 0.05$) a las distintas horas de incubación y en los distintos días de cosecha. En ambos cultivares se presentó tendencia al aumento de la producción de biogás entre las 6 y 24 h, y disminuyó a las 72 h. Por otra parte, en el cultivar Cobra se registró menor producción ($P < 0.05$) de CH₄ y CO₂ a los 28 días de cosecha, mientras que para Cayman no se presentaron diferencias ($P > 0.05$) en la producción de CH₄ y CO₂ a los distintos días de cosecha (Tabla 3).

Tabla 3. Producción biogás, CH₄ y CO₂ (mL g⁻¹ MS) *in vitro* en los pastos Cayman y Cobra a diferentes edades de cosecha.

Cultivar	Producción de biogás, CH ₄ y CO ₂ mL g ⁻¹ MS					CH ₄	CO ₂
Días de cosecha	Horas de incubación						
Cobra	6 h	12 h	24 h	48 h	72 h	72 h	72 h
28	32.06 ^a	28.93 ^a	39.46 ^a	22.00 ^a	9.40 ^a	38.98 ^b	117.82 ^d
35	30.26 ^a	29.20 ^a	36.86 ^a	17.73 ^a	4.66 ^a	41.71 ^a	128.96 ^b
42	26.13 ^a	16.73 ^a	27.80 ^a	16.86 ^a	5.40 ^a	41.47 ^a	122.58 ^c
49	38.47 ^a	32.33 ^a	23.93 ^a	28.80 ^a	5.93 ^a	41.70 ^a	133.57 ^a
EE	9.89	5.73	9.22	4.61	1.72	0.36	0.99
Cayman							
28	57.80 ^a	36.33 ^a	43.20 ^a	25.33 ^a	7.26 ^a	42.69 ^a	126.17 ^a
35	38.66 ^a	34.66 ^a	41.46 ^a	20.86 ^a	4.66 ^a	43.11 ^a	137.47 ^a
42	28.00 ^a	24.66 ^a	26.20 ^a	23.00 ^a	5.06 ^a	43.95 ^a	136.42 ^a
49	28.00 ^a	35.73 ^a	38.93 ^a	27.86 ^a	8.06 ^a	44.09 ^a	123.55 ^a
EE	8.40	3.89	9.04	3.49	1.27	1.67	4.17

CH₄ = Volumen de gas metano en mililitros por gramo de materia seca, CO₂ = Volumen de bióxido de carbono en mililitros por gramo de materia seca, abc = En columna indican diferencia estadística (p = 0.05) en la edad de cosecha, 28, 35, 42 y 49 = edad de cosecha del cultivar, EE: Error estándar.

DISCUSIÓN

La tendencia en rendimiento de la producción de Kg de MS por hectárea en el presente experimento se presentó para el cultivar Cobra, debido a la disponibilidad de humedad durante la época de lluvias (Castro *et al.* 2013); lo cual favoreció el crecimiento de la parte aérea de la planta y la relación hoja tallo (Mattos *et al.* 2005), y se reflejó en incremento de peso de sus componentes tallos y hojas. Mientras que Pizarro *et al.* (2010) enfatizan que los híbridos Cayman y Cobra tienen mayor potencial genético para la producción de biomasa aún bajo condiciones adversas. La producción acumulada de biomasa tanto para Cobra y Cayman en el presente experimento, fue mayor a la obtenida por Garay-Martínez *et al.* (2018) bajo similares condiciones, quienes reportaron producción acumulada de forraje de 6310 y 8890 kg ha⁻¹ para Cobra y Cayman respectivamente, durante el periodo de mayor precipitación en el estado de Tamaulipas. Algunos factores climáticos como precipitación y temperatura influyen de manera significativa en la producción de biomasa (Maia 2014). Además, los intervalos cortos de cosecha limitan la acumulación de reservas en la planta para obtener rebrote vigoroso, lo cual se traduce en menor tasa de crecimiento y acumulación de biomasa (Cruz-Hernández *et al.* 2017). Por otra parte, a mayor edad de cosecha de los forrajes realizan metabolismo más activo (Castro *et al.* 2013), lo que origina mayor producción de hoja y tallos, principales componentes con mayor aporte de biomasa y por consiguiente mayor rendimiento de MS (Bernal *et al.* 2016).

La mayor DIVMS en ambos cultivares evaluados en el presente experimento se presentó a 28 días de cosecha, y posteriormente disminuyó con la edad de cosecha, lo anterior puede ser explicado debido a incremento en los porcentajes de lignina, lo cual disminuye la proporción de nutrientes digestibles, lo que originó menor DIVMS en ambos cultivares en la presente investigación. Los

resultados de DIVMS del presente experimento son similares a los reportados por López-Garrido *et al.* (2022), quienes reportaron para Cobra 64.61% y para Cayman 63.57% de DIVMS a 60 días de cosecha posterior a la siembra.

Los resultados obtenidos en el porcentaje de PC del presente experimento son menores a los reportados por Garay *et al.* (2017) quienes determinaron para la edad de 28 días de cosecha, un contenido de PC de 16.2 y 16.1% para Cayman y Cobra, respectivamente. En otro estudio realizado por Rojas-García *et al.* (2018) reportaron resultados mayores para PC (14.4%) en pasto Cobra a 35 días de rebrote a los obtenidos en el presente estudio. En general, en este experimento se observó una tendencia en la disminución de PC a medida que aumentó la edad de cosecha de ambos cultivares. Por su parte, Garay *et al.* (2017) obtuvieron resultados similares en híbridos de *Urochloa*, registraron disminución en el porcentaje de proteína a mayor edad de cosecha. En el presente estudio, el contenido de FDN fueron similares en ambos cultivares, mientras que en FDA incrementaron con la edad de cosecha en el cultivar Cobra. Estos valores contrastan a los resultados reportados por López-Garrido *et al.* (2022) quienes reportaron para pasto Cobra valores de FDN mayores a 65% y para FDA valores mayores a 40%, y para Cayman valores de FDN mayores a 70% y valores mayores a 44% para FDN a 60 días de cosecha posteriores a la siembra. Mientras que Villalobos y Arce (2013) señalan que altos contenido de FDN y FDA en los forrajes disminuye su degradabilidad ruminal, así como el contenido de nutrientes conforme aumenta la edad de la planta.

El contenido de celulosa y hemicelulosa en la presente investigación fueron menores a los reportados por Reyes-Pérez *et al.* (2022) para *B. decumbens*, cuyos valores fueron de 29.64, 30.47, y 30.59% para celulosa y 30.18, 30.58 y 33.65% para hemicelulosa a edades de cosecha de 30, 45 y 60 días posteriores al rebrote, debido que la composición química y los carbohidratos estructurales en los pastos se modifican a medida que avanza su madurez fisiológica (Lima *et al.*, 2014). Este comportamiento morfológico es característico de las gramíneas tropicales en respuesta a las condiciones climáticas y al efecto de su rápido crecimiento (Pizarro *et al.* 2013), además de provenir de un mismo progenitor y poseer características similares que responden de forma uniforme desde el punto de vista químico.

Los valores de pH durante la fermentación *in vitro* en el presente experimento fueron superiores a 6.3 en ambos cultivares sin presentar diferencia para la edad de corte, lo cual sugiere que durante la fermentación las bacterias ruminales se desarrollaron adecuadamente debido a que el pH no afectó la población de las bacterias, en particular la actividad enzimática de las bacterias celulolíticas (Araujo-Febres y Vergara-López 2007). Se considera que estos valores de pH son adecuados para la degradación de las paredes celulares, la cual se puede inhibir a pH menor a 6.0 (Sánchez-Santillán y Cobos-Peralta 2016).

La concentración de AGV (acetato, propionato y butirato) a 72 h de incubación *in vitro* en los cultivares Cobra y Cayman en la presente investigación, presentaron diferencias solo para algunas edades de corte. La concentración de acetato fue menor para el cultivar Cobra a 28 días de cosecha. En estudio realizado por López-Garrido *et al.* (2022) con estos mismos pastos, cosechados a 60 días posteriores a la siembra, reportaron concentraciones menores de acetato en Cobra y Cayman. En el presente estudio se reportaron concentraciones más altas de propionato y butirato en Cobra y

Cayman con respecto a los resultados reportados por los citados autores. Con respecto al total de AGV en el presente estudio, el valor más bajo fue registrado en pasto Cayman. Lo anterior, podría explicarse por el mayor contenido de FDN de los pastos, lo que aporta mayor cantidad de celulosa y hemicelulosa potencialmente fermentables por las bacterias celulolíticas que degradan la glucosa hasta acetato y butirato (Ley-de-Coss *et al.* 2018). La relación acetato:propionato en la presente investigación, fue menor en el pasto Cobra a los 42 días de cosecha y para el pasto Cayman a los 49 días de cosecha, lo cual indica una adecuada y eficiente utilización de la energía durante el proceso de fermentación ruminal *in vitro*. Tal como se demostró en estudios anteriores por Ley-de-Coss *et al.* (2018), donde se indica que la relación adecuada acetato:propionato en el rumen oscila entre 0.9 a 4.0, y aquellos valores cercanos a 1.0 indican utilización más eficiente de la energía.

La producción de biogás a diferentes tiempo de incubación en el presente experimento no presentó diferencias en cada cultivar a las diferentes edades de cosecha, lo anterior se puede explicar debido a que el volumen de gas en rumen incrementa o disminuye de acuerdo con el valor nutricional de los forrajes, tal como lo señalan Camacho-Escobar *et al.* (2020) quienes determinaron que los pastos con mayor contenido de carbohidratos estructurales y menor contenido de proteína cruda producen mayor cantidad de biogás (CO₂ y CH₄), en contraste con aquellos pastos con mayor contenido de carbohidratos solubles y mayor contenido de proteína producen menor cantidad de biogás. Por otra parte, los resultados de la producción de CH₄ y CO₂, en el presente estudio mostraron que a edades más tempranas de cosecha (28 días) del pasto Cobra se produjo menor producción de CH₄ y CO₂, lo cual contrasta con los resultados obtenidos por López Garrido *et al.* (2022) quienes reportaron valores más bajos en la producción de CH₄ y mayor producción de CO₂ para los mismos cultivares a 60 días de cosecha posteriores a la siembra.

CONCLUSIONES

La mejor edad de cosecha para los cultivares Cayman y Cobra después del rebrote en la región costera de Oaxaca oscila entre los 28 y 35 días, debido a que en este periodo presentaron mayor porcentaje de PC y menor contenido de FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa. Además, durante la fermentación *in vitro* estos cultivares registraron niveles más bajos de producción de metano.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido, en especial al Campo Experimental y al laboratorio de Bioquímica y Nutrición, al laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Ciencias Básicas Para la Salud, de la Universidad de Guadalajara. Centro Universitario del Sur - Ciudad Guzmán, Jalisco. México, por las facilidades otorgadas para la realización de este estudio. Además, al Grupo PAPALOTLA S. A. de C.V. por la donación de las semillas de ambos tipos de cultivares

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- AOAC (1997) Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists International. 16th ed. Virginia, USA. pp. 69- 83.
- Araujo-Febres O, Vergara-López J (2007) Propiedades físicas y químicas del rumen. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 15 (S1): 133-140.
- Bernal A, Velázquez VH, Ruíz R, Quero AR, Pizarro EA (2016) Potencial productivo en tres híbridos de *Urochloa*. In: Cantú A, González EA, López R, Ávila JM (Eds) III Congreso Mundial de Ganadería Tropical 2016. Tamaulipas, México. pp. 100-104.
- Camacho-Escobar MA, Galicia-Jiménez MM, Sánchez-Bernal EI, Ávila-Serrano NY, López-Garrido SJ (2020). Producción de metano y bióxido de carbono *in vitro* de pastos tropicales de la costa de Oaxaca, México. Terra Latinoamericana, Número Especial 38(2): 425-434. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.628>
- Castro R, Hernández A, Ramírez O, Aguilar G, Enríquez JF, Mendoza SI (2013) Crecimiento en longitud foliar y dinámica de población de tallos de cinco asociaciones de gramíneas y leguminosa bajo pastoreo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 4(2): 201-215.
- Cobos-Peralta MA, Yokoyama MT (1995) *Clostridium paraputrificum* var. *Ruminantium*: colonization and degradation of shrimp carapaces *in vitro* observed by scanning electron microscopy. In: Rumen Ecology Research Planning. Proc. of Workshop held at International Livestock Research Institute. Addis Abeba, Etiopía. Nairobi, Kenya. pp. 151-161.
- Cobos-Peralta MA, Curzaynz-Leyva KR, Rivas-Martínez MI, Santillán-Gómez EA, Bárcena-Gama JR (2018) Efecto *in vitro* de dietas para corderos más un suplemento de granos secos de destilería en la fermentación ruminal y emisiones de gases. Agrociencia 52(2): 203-215.
- Cruz-Hernández A, Hernández-Garay A, Aranda-Ibañez E, Chay-Canul AJ, Márquez-Quiroz C, Rojas-García AR, Gómez-Vázquez A (2017) Nutritive value of Mulato Grass under different grazing strategies. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 4: 65-72.
- Dongxia L, Kuikui N, Yingchao Z, Yanli L, Fuyu Y (2019) Fermentation characteristics, chemical composition and microbial community of tropical forage silage under different temperatures. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 32(5): 665-674. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0085>
- Erwin ES, Marco GJ, Emery EM (1961) Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. Journal Dairy Science 44: 1768-1776. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(61\)89956-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(61)89956-6)
- Garay JR, Joaquín S, Zárate P, Ibarra MA, Martínez JC, González RP, Cienfuegos EG (2017) Dry matter accumulation and crude protein concentration in *Brachiaria* spp. cultivars in the humid tropics of Ecuador. Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales 2(5): 66-76. [http://dx.doi.org/10.17138/TGFT\(5\)66-76](http://dx.doi.org/10.17138/TGFT(5)66-76)
- Garay-Martínez JR, Joaquín-Cancino S, Estrada-Drouaillet B, Martínez-González JC, Joaquín-Torres BM, Limas-Martínez AG, Hernández-Meléndez J (2018) Acumulación de forraje de pasto buffel e híbridos de *Urochloa* a diferente edad de rebrote. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 5(15): 573-581. <http://dx.doi.org/10.19136/era.a5n15.1634>
- Hare MD, Tatsapong P, Phengphet S (2009) Herbage yield and quality of *Brachiaria cultivars*, *Paspalum atratum* and *Panicum maximum* in north-east Thailand. Tropical Grasslands 43: 65-72.

- Herrera GRS (2014) Algunos aspectos que pueden influir en el rigor y la veracidad del muestreo de pastos y forrajes. *Avances en Investigación Agropecuaria* 18(2): 7-26.
- Krabill LF, Alhassan WS, Satter LD (1969) Manipulation of the ruminal fermentation, II Effect of sodium sulfite on bovine digestion and ruminal fermentation. *Journal Dairy Science* 52: 1812-1816. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(69\)86846-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(69)86846-3)
- Ledea-Rodríguez JL, Ray-Ramírez JV, Reyes-Pérez JJ (2018) Ruminal degradability of organic matter of varieties of drought tolerant *Cenchrus purpureus*. *Agronomía Mesoamericana* 29(2): 375-387.
- Ley-de-Coss A, Guerra-Medina CE, Montañez-Valdez O, Guevara HF, Pinto R, Reyes-Gutiérrez JA (2018). Producción *in vitro* de gas metano por gramíneas forrajeras tropicales. *Revista MVZ Córdoba* 23(3): 6788-6798. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1368>
- Lima MA, Gómez LD, Steele-King CG, Simister R, Bernardinelli OD, Carvalho MA, Rezende CA, Labate CA, de-Azevedo ER, McQueen-Mason SJ, Polikarpov I (2014) Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable biorenewables production. *Biotechnology Biofuels* 7(1): 1- 19. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-7-10>
- López-Garrido SJ, Santos-Jerónimo S, Sánchez-Bernal EI, Galicia-Jiménez MM, Ávila-Serrano NY, Camacho-Escobar MA, Sánchez SP, Hernández SD (2022) Composición química y fermentación ruminal *in vitro* de los pastos Cayman (BR/1752) y Cobra (BR/1794) crecidos en condiciones de estrés salino. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25: 1-16.
- Maia GA, De Pinho-Costa KA, Da Costa Severiano E, Epifanio PS, Neto JF, Ribeiro MG, Fernandes PB, Silva JFG, Gonçalves WG (2014) Yield and chemical composition of *Brachiaria* forage grasses in the offseason after Corn Harvest. *American Journal of Plant Sciences* 5: 933-941.
- Mattos J, Gomide J, Martinez C (2005) Crescimento de espécies de *Brachiaria* sob déficit hídrico e alagamento a campo. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34(3): 755-764. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000300006>
- Mellenberger RW, Satter LD, Millett LA, Baker AJ (1970) An *in vitro* technique for estimating digestibility of treated and untreated wood. *Journal of Animal Science* 30: 1005-1011. <https://doi.org/10.2527/jas1970.3061005x>
- Muñoz-González JC, Huerta-Bravo M, Lara-Bueno A, Rangel-Santos R, de la Rosa-Arana JL (2016) Producción de materia seca de forrajes en condiciones de Trópico Húmedo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(SPE16): 3329-3341. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i16.400>
- Pizarro EA, Ruíz RR, Ávila F, López A (2010) Informe anual. Departamento de Investigación y Desarrollo. Grupo Papalotla. México. 57p.
- Pizarro EA, Hare MD, Mutimura M and Changjun B (2013) *Brachiaria* hybrids: Potential, forage use and seed yield. *Forrajes Tropicales* 1: 31-35.
- Reyes-Pérez JJ, Méndez-Martínez Y, Espinoza-Canuha KA, Bastidas-Espinoza RL, Apolo-Bosquez JA, Ramírez-de la Ribera JL, Ruíz-Espinoza FH (2022) Composición química, digestibilidad y rendimiento de *Brachiaria decumbens* a diferentes edades de rebrote. *Biotecnia* 24(2): 84-93. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1606>
- Rojas-García AR, Torres-Salado N, Maldonado-Peralta MA, Sánchez-Santillán P, García-Balbuena A, Mendoza-Pedroza SI, Álvarez-Vázquez P, Herrera-Pérez J, Hernández-Garay A (2018) curva de crecimiento y calidad del pasto Cobra (*Brachiaria* híbrido br02/1794) a dos intensidades de corte. *Agroproductividad* 11(5): 34-38.
- SAS (2011) SAS/STAT Software. Version 9.3. SAS Cary, NC SAS, SAS, USA: Institute Inc. 906p.
- Sánchez-Santillán P, Cobos-Peralta MA (2016) Producción *in vitro* de ácidos grasos volátiles de bacterias celulolíticas reactivadas y bacterias ruminales totales en sustratos celulósicos. *Agrociencia* 50: 565-574.

- Serrano-Altamirano V, Silva-Serna MM, Cano-García MA, Medina-García G, Ruiz-Corral A (2005) Estadísticas climatológicas básicas del estado de Oaxaca (periodo 1961 – 2003). INIFAP – SAGARPA. Libro técnico No. 4. Oaxaca, México. 272p.
- Steel RGD, Torrie JH (1988) Bioestadística: Principios. McGraw Hill México. 622p.
- Van-Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in ration to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vendramini JM, Sollenberger LE, Soares AB, da Silva WL, Sánchez JM, Valente AL (2014) Harvest frequency affects herbage accumulation and nutritive value of brachiaria grass hybrids in Florida. Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales 2(2): 197-206.
- Williams BA (2000) Cumulative Gas-Production Techniques for forage Evaluation. In: Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. pp. 189-211.
- Villalobos L, Arce J (2013) Evaluación agronómica y nutricional del pasto Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. I. Disponibilidad de biomasa y fenología. Agronomía Costarricense 37: 91-101.