

DINÁMICA DE LA FERMENTACIÓN RUMINAL *IN VITRO* DE LA MEZCLA INTEGRAL DE CAMOTE (*IPOMOEA BATATA*, L.) PRESECADA Y ENSILADA

DYNAMICS OF THE *IN VITRO* RUMINAL FERMENTATION OF THE INTEGRAL MIXTURE OF PRE-DRIED AND ENSELED SWEET POTATO (*IPOMOEA BATATA*, L.)

Carlos Solís G.*. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá. carlos.solis@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0003-2472-556X>

Manuel H. Ruiloba. Grupo de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (GRCITED). Panamá. mruiloba15@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5195-4566>

Rafael Rodríguez. Instituto de Ciencia Animal. Depto. de Rumiantes. Cuba. rrodriguez@ica.co.cu. <https://orcid.org/0000-0001-8254-7509>

Yoandra Marrero. Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio (CENPALAB). Cuba. ymarrero@ica.co.cu. <http://orcid.org/0000-0001-6213-5857>

Niurka González. Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio (CENPALAB). Cuba. <https://orcid.org/0000-0003-3415-6241>

*Correo de Correspondencia: carlos.solis@up.ac.pa

Recibido: 03/04/2022

Aceptado: 21/03/2023

RESUMEN. Con la técnica de producción de gas se evaluó la dinámica fermentativa *in vitro* de la mezcla integral de camote pre secada (CPS) y ensilada (ECI) respecto al grano de maíz molido (GMM), como referencia energética (3.2 Mcal/kgMS), y un tiempo de incubación de 72 horas. El proceso de ensilaje (45 días, relación 2:1 tubérculo:follaje, base seca) no afectó apreciablemente la composición química (MO, FDA, PB, PV, almidón total), excepto la FDN, la cual disminuyó. En el periodo de incubación de 2 a 4 horas la producción acumulada de gas (PAGiv, mLg-1MOinc) no presentó diferencia entre tratamientos; en el periodo de 4 a 12 horas la PAGiv aumentó rápidamente, pero con un mayor incremento con CPS y sin diferencia entre GMM y ECI; a partir de las 12 hasta las 72 horas la PAGiv fue similar para CPS y GMM y menor para ECI. El tiempo de colonización o hidratación del sustrato (fase lag) presentó valores de 2.53, 2.61 y 3.03 horas para CPS, ECI y GMM, respectivamente. En cuanto a los parámetros de Gompertz, GMM presentó la mayor producción potencial de gas (348.90 seguida por CPS y ECI; CPS logró la mayor velocidad promedio de producción de gas, seguida por ECI y GMM. El parámetro C indicó una mayor síntesis de biomasa microbiana para las mezclas integrales de camote. Se concluyó que el proceso de ensilaje afectó la producción acumulada de gas, que esta fue mayor para GMM pero las mezclas de camote presentaron mayor velocidad promedio de producción de gas y síntesis de masa microbiana.

PALABRAS CLAVE: producción acumulada de gas *in vitro*, dinámica fermentativa, tiempo de incubación, parámetros de Gompertz, velocidad de producción de gas.

ABSTRACT. With the gas production technique, the *in vitro* fermentative dynamics of the integral mixture of pre-dried sweet potato (CPS) and ensiled (ECI) was evaluated with respect to the ground corn grain (GMM), as an energy reference, and an incubation time of 72 hours. The silage process did not appreciably affect the chemical composition, except for NDF, which decreased. In the incubation period from 2 to 4 hours, the accumulated gas production (PAGiv, mLg-1MOinc) did not present a difference between treatments, in the period from 4 to 12 hours the PAGiv increased rapidly, but with a greater increase with CPS and without difference between GMM and ECI; from 12 to 72 hours the PAGiv was similar for CPS and GMM and lower for ECI. The colonization or hydration time of the substrate (lag phase) presented values of 2.53, 2.61 and 3.03 hours for CPS, ECI and GMM, respectively. Regarding the Gompertz parameters, GMM presented the highest potential gas production (348.90), followed by CPS and ECI; CPS obtained the highest average gas production rate, followed by ECI and GMM. Parameter C indicated a greater synthesis of microbial biomass for the integral mixtures of sweet potato. It was concluded that the silage process affected the accumulated gas production, which was greater for GMM, but the sweet potato mixtures presented a higher average rate of gas production and synthesis of microbial mass.

KEYWORDS: cumulative *in vitro* gas production, fermentative dynamics, incubation time, Gompertz parameters, gas production rate.

INTRODUCCIÓN

El camote o boniato (*I. batata L.*) ha sido estudiado en la alimentación bovina de carne (Backer *et al.*, 1980, Ruíz *et al.*, 1981) y leche (Massey *et al.*, 1976, Quezada 2001) como alternativa al uso de las fuentes tradicionales. Más recientemente, estudios de Solís y Ruiloba (2017) y Ruiloba *et al.*, (2021) indicaron que tanto el ensilado integral (tubérculo + follaje) como el tubérculo fresco de camote presentaron capacidad competitiva frente al grano de maíz en términos de producción y costos en bovinos de carne. Estos autores atribuyeron dichas respuestas productivas al desempeño fermentativo ruminal de sus componentes energéticos y a una fracción apreciable de almidón sobrepasante a las partes bajas del tracto gastrointestinal, lo que mejoró su eficiencia de utilización.

Con la técnica de producción de gas *in vitro* se han realizado estudios fermentativos ruminales de sustitución del grano de maíz molido por ensilado integral de camote en dietas para bovinos de carne (Solís *et al.*, 2019, Solís *et al.*, 2020, Solís *et al.*, 2021), destacándose una mayor producción acumulada de gas y degradabilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y fibra detergente neutra (FDN) en la medida que aumenta el nivel de ensilado integral de camote, variables que contribuyen a caracterizar el comportamiento del alimento a nivel ruminal.

En este sentido, el presente trabajo se realizó con el objetivo de estudiar la dinámica fermentativa *in vitro* de la mezcla integral de camote pre secada y ensilada, comparativamente con el grano de maíz molido como material de referencia energética.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras para este estudio fueron tomadas de una parcela de camote comercial ubicada en Perales, Los Santos, Panamá. El estudio *in vitro* se llevó a cabo en la Unidad Central de Laboratorios (UCELAB), perteneciente al Instituto de Ciencia Animal de Cuba, en base a un diseño de bloques al azar, con cuatro réplicas en el tiempo o bloques. Cada replica estuvo constituida por los siguientes tratamientos (TRT): grano de maíz molido (GMM) (comercial), mezcla integral de camote pre seca (CPS) y mezcla integral de camote ensilada (ECI). Para la mezcla integral se utilizó el cultivar (CIP-440046-14, clon con alta cobertura de suelo), en una relación 2:1 tubérculo:follaje, base seca, la que se pre secó durante 24 horas y luego se trituraron con una picadora estacionaria. De esta mezcla se tomaron 10 muestras de 1.0 kg cada una: cinco constituyeron el material pre-seco (CPS) y cinco fueron ensiladas por 45 días en microsilos plásticos de 1.0 kg de capacidad, sellados herméticamente, las que constituyeron el material ensilado (ECI).

Para estudiar la dinámica fermentativa se utilizó la técnica *in vitro* de producción de gas descrita por Theodorou *et al.*, (1994). En botellas de 100 mL se incubó 1.0 g de sustrato de cada material (tamaño de partícula, 1.0 mm) en el medio de cultivo descrito por Menke y Steingass (1988) y un inóculo de microorganismos ruminales en proporción de 20% del volumen total de incubación (80 mL). Se utilizó como inóculo el contenido ruminal de dos vacas canuladas en el rumen, alimentadas a voluntad con forraje de gramíneas, agua, sales minerales y 2.0 kg día⁻¹ de concentrado. El líquido ruminal de cada animal se recolectó antes de su alimentación en la mañana, se conservó y trasladó individualmente en termos herméticamente cerrados hasta el laboratorio donde inmediatamente se filtró a través de varias capas de gasa; seguidamente, ambos inóculos se

mezclaron para obtener una muestra representativa del mismo. Durante el proceso de filtrado y mezclado los inóculos se mantuvieron a 39°C y en condiciones anaeróbicas mediante flujo continuo de CO₂. Se utilizaron cuatro réplicas en el tiempo, tres tratamientos, cuatro repeticiones por tratamiento, 10 tiempos de incubación y cuatro blancos (botellas de vidrio de 100 mL con 64 mL de medio de incubación y 16 mL de líquido ruminal pero sin sustrato), para un total de 480 mediciones. Las muestras se colocaron en dos baño maría a 39°C sin agitación. A todas las botellas se les tomó la presión de gas en los respectivos tiempos y solo se abrieron al final del experimento.

La producción de gas *in vitro* (PAGiv) se midió con un manómetro HD8804 acoplado al calibrador de presión TP804 (DELTA OHM, Italia). La producción acumulada de gas *in vitro* (PAGiv) se midió a las 2, 4, 6, 9, 12, 16, 24, 36, 48 y 72 horas de incubación (T). Para simplificar los análisis estadísticos, la fermentación *in vitro* se dividió en dos fases en función de las velocidades de fermentación esperadas. La primera fase (Fase inicial) abarcó los primeros cinco tiempos de incubación (2, 4, 6, 9 y 12 horas), mientras que la segunda fase (Fase final) incluyó los últimos cinco (15, 24, 36, 48 y 72 horas). Después de cada medición se liberó el gas hasta igualar la presión externa e interna de las botellas (presión en Pascales [Pa]).

Los datos de presión se transformaron en volumen de gas mediante la ecuación de regresión lineal descrita por Rodríguez *et al.*, (2013):

$$\text{Gas (mL)} = (\text{presión [10}^3\text{Pa]} + 4.95) / 2.5858 \quad [n= 132; R^2= 0.98]$$

Para la cinética de producción de gas se utilizó el modelo de Gompertz:

$$Y = A * \text{Exp} (-B * \text{Exp} (-C * t))$$

donde **Y** es la producción de gas al tiempo *t* [mL g⁻¹ MO incubada (MOinc)], **A** el potencial de producción de gas (asíntota cuando *t* = ∞; mL g⁻¹ MOinc), **B** la velocidad promedio de producción de gas (mL g⁻¹ MOinc h⁻¹), **C** el factor constante relacionado con la eficiencia microbiana (h⁻¹) y **t** el tiempo de incubación (h). Los parámetros cinéticos se estimaron con el programa Infostat (Di-Rienzo *et al.*, 2012).

El tiempo de incubación al que se alcanzó la velocidad máxima (T_{Vmáx}) de producción de gas se estimó a partir de la segunda derivada del modelo de Gompertz, evaluada en cero, punto de inflexión de este modelo sigmoidal. La velocidad máxima de producción de gas (V_{máx}, mLg⁻¹ MOinc h⁻¹) se estimó al sustituir la T_{Vmáx} (h⁻¹) en la primera derivada del modelo de Gompertz.

El tiempo de colonización o hidratación del sustrato, hora, (fase lag) se estimó a partir de la ecuación propuesta por Casas *et al.*, (2010);

$$\text{Fase lag} = [\ln(\text{parámetro B}) - 1] / \text{parámetro C},$$

basada en los parámetros de Gompertz, en donde ln es el logaritmo neperiano.

La PAGiv de los tratamientos (GMM, CPS y ECI), como medida repetida en la misma unidad experimental, se analizó con la metodología descrita por Gómez *et al.*, (2019), que primero contempla el cumplimiento de los supuestos de normalidad para el análisis de varianza mediante la dócima de Shapiro y Wilk (1965) y el análisis de correlación de Pearson. Frente a un

incumplimiento del supuesto de normalidad, se utilizó un Modelo Lineal Generalizado Mixto (mL g⁻¹ MOinc h⁻¹, mililitros de gas por gramo de MO incubada por hora) mediante el empleo del procedimiento GLIMMIX del SAS (SAS 2010). Dentro del modelo se consideró como efecto aleatorio las réplicas (bloques) y como efectos fijos los tratamientos, tiempos de incubación e interacción tratamiento por tiempo de incubación (TRT*T). Para conocer la distribución con que se ajustaron los datos se probaron las distribuciones Poisson, logaritmo (Log) normal, Gamma e Igauss; siendo la Gamma la de mejor ajuste y Log la función de enlace.

La MS, MO y PB se determinaron mediante la metodología descrita por Latimer (2016), la fibra detergente neutra y ácida (FDN y FDA) según Goering y VanSoest (1970), proteína verdadera (PV) por el método de Bernstein (1983) y el almidón total (AL) con el kit K-TSTA-50A / KTSTA-100A 17/06 (Megazyme 2017), adoptado por la AOAC (Método oficial 996.11) y AACC (Método 76-13.01).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química de los tratamientos evaluados (tabla 1) presentó diferencias importantes entre el grano de maíz y las mezclas integrales de camote, en especial en el contenido de fibra, PB y almidón. Los valores obtenidos para el grano de maíz son muy similares a los obtenidos por otros autores (Méndez *et al.* 2005, Martínez *et al.* 2016, Marta *et al.* 2017, DeBlas *et al.* 2019). El proceso de ensilaje disminuyó el contenido de MO, producto de la actividad metabólica microbiana y posible pérdida en los efluentes. En cambio ocurrió una disminución del 13.2% en el contenido de FDN del ensilado, lo que indica que esta fibra puede ser muy degradable a nivel ruminal. Prácticamente no hubo efecto sobre el contenido de PB; sin embargo, el contenido de PV aumentó en un 6.4% en el material ensilado, lo que pudo implicar que parte del N no proteico fue transformado a PV por las bacterias.

Tabla 1. Composición química de los tratamientos evaluados.

| Componentes | Tratamientos | | |
|-------------|-------------------|-------|--------------|
| | GMM | CPS | ECI |
| MS | 87.60 | 29.10 | 30.10 |
| | % de la MS | | |
| MO | 98.60 | 91.60 | 90.60 |
| FDN | 6.72 | 33.40 | 29.00 |
| FDA | 3.6 | 18.40 | 17.00 |
| PB | 9.94 | 5.87 | 5.98 |
| PV | ---- | 4.70 | 5.00 |
| AL | 66.1 | 45.67 | 44.3 |

En la tabla 2 se muestra el comportamiento de la PAGiv. La interacción TRT*T afectó la PAGiv (p<0.01) como consecuencia de cambios en el patrón de producción y tasa de producción de gas a partir de las 15 horas de incubación, en especial con GMM y ECI. En las primeras 2 horas de incubación se obtuvo una producción acumulada promedio de 5.49 mLg⁻¹MOinc, lo que indicó un proceso de colonización y actividad fermentativa relativamente rápida, proceso que requiere disponibilidad de carbohidratos de fácil utilización microbiana como los azúcares (Marrero *et al.*, (2007). En el periodo de 2 a 4 horas de incubación no hubo diferencia en la producción acumulada

de gas entre tratamientos con un promedio para el periodo de 13.30 mLg⁻¹MOinc, respuesta relacionada con la disponibilidad de azúcares y almidones solubles en los tres productos. El contenido promedio de azúcares del GMM es bajo, 1.0 a 2.0%, base seca (Martínez *et al.*, 2016, DeBlas *et al.*, 2019); en cambio las mezclas integrales de camote dispusieron de mayores niveles de azúcares (tabla 1), aportados por la fracción tubérculo que constituyó el 66.7% de la mezcla y cuyo contenido de estos disacáridos es alta (8.3 a 31.6%, Aliaga y Nieto 2009), principalmente sacarosa (Grüneberg *et al.*, 2015).

En el periodo de 4 a 15 horas la producción acumulada de gas aumentó rápidamente, con promedio para de 93.50 mLg⁻¹MOinc. El incremento en producción de gas fue mayor para CPS pero igual para GMM y ECI, situación que evidencia una mayor disponibilidad de azúcares y almidones solubles en el camote pre seco. Se asume que en este periodo el almidón del GMM empezó a ser liberado de la matriz proteica que lo protege, favoreciendo su producción de gas.

El GMM contiene niveles altos de almidón, 66.1% (Agama *et al.*, 2013, Corcuera *et al.*, 2016, DeBlas *et al.*, 2019, Solís 2020); sin embargo, este está rodeado por una matriz proteica que requiere ser hidrolizada por enzimas microbianas ruminales (Singh *et al.*, 2010), para que posteriormente el almidón sufra solubilización, degradación microbiana o pérdida en efluente. Este proceso requiere tiempo, lo que afecta su velocidad de degradación (Ramos 2016). A las 24 horas la producción acumulada de gas del GMM superó a la de ECI y a partir de las 36 horas resultó muy similar a la de CPS, lo que indicó que el almidón del GMM resultó liberado de la matriz que lo rodea. Con incubaciones *in vitro* hasta las 24 horas, Solís (2020) obtuvo mayor degradabilidad para el almidón del GMM que del CPS y ECI, con valores de 89.84, 86.43 y 82.90%, respectivamente, comportamiento del GMM que indicó liberación del almidón de la matriz proteica, pero también características físico- químicas propias del almidón favorables a su degradación.

Tabla 2. Efecto del sustrato y el tiempo de incubación en la producción acumulada de gas *in vitro* (mL g⁻¹ MOinc).

| Tratamiento | Tiempo de incubación, horas (fase inicial) | | | | | p, EE |
|-------------|--|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| | 2 | 4 | 6 | 9 | 12 | |
| GMM | 2.02 ^h (7.51) | 3.01 ^g (20.27) | 3.84 ^f (46.42) | 4.59 ^d (98.95) | 5.02 ^b (151.80) | p<0.01 ±0.03 |
| CPS | 1.48 ⁱ (4.38) | 3.09 ^g (21.95) | 4.05 ^e (57.20) | 4.78 ^c (119.40) | 5.17 ^a (176.75) | |
| ECI | 1.52 ⁱ (4.59) | 3.06 ^g (21.32) | 4.04 ^e (56.88) | 4.76 ^c (116.45) | 5.13 ^a (168.98) | |
| Tratamiento | Tiempo de incubación, horas (fase final) | | | | | p, EE |
| | 15 | 24 | 36 | 48 | 72 | |
| GMM | 5.31 ⁱ (203.20) | 5.62 ^g (274.92) | 5.73 ^d (308.80) | 5.80 ^b (331.77) | 5.87 ^a (353.29) | p<0.0001 ±0.015 |
| CPS | 5.41 ^h (223.43) | 5.65 ^{ef} (285.24) | 5.75 ^{cd} (313.87) | 5.81 ^b (332.59) | 5.86 ^a (349.41) | |
| ECI | 5.34 ⁱ (207.98) | 5.57 ^g (263.31) | 5.67 ^e (289.89) | 5.73 ^d (307.31) | 5.78 ^{bc} (322.75) | |

a, b, c, d,...: Medias con letras distintas según Tukey difieren para p<0.05; mL g⁻¹ MOinc: mililitros de gas por gramo de MO incubada; Valores en paréntesis: medias originales; Valores sin paréntesis: medias ajustadas; EE: Error Estándar de la media transformada.

A partir de las 12 hasta las 72 horas, la producción acumulada de gas presentó aumentos decrecientes, con un promedio de producción de $253.80 \text{ mLg}^{-1}\text{MOinc}$, igual producción para CPS y GMM y menor producción para ECI. Este comportamiento decreciente indicó disminución progresiva en la disponibilidad de las fuentes energéticas para la microbiota o limitaciones del propio sistema *in vitro* utilizado.

La PAGiv en función del tiempo de incubación se presenta en la figura 1, donde se evidencia un aumento decreciente, un efecto interactivo TRT*T y una menor producción de gas a partir de las 24 horas para ECI con respecto a los otros dos tratamientos. Basado en este comportamiento decreciente de la producción de gas, al comparar la respuesta de CPS y ECI se puede indicar que el proceso de ensilaje pudo disminuir la degradabilidad del almidón del camote, tal como informó LI Jian-nan *et al.*, (2014).

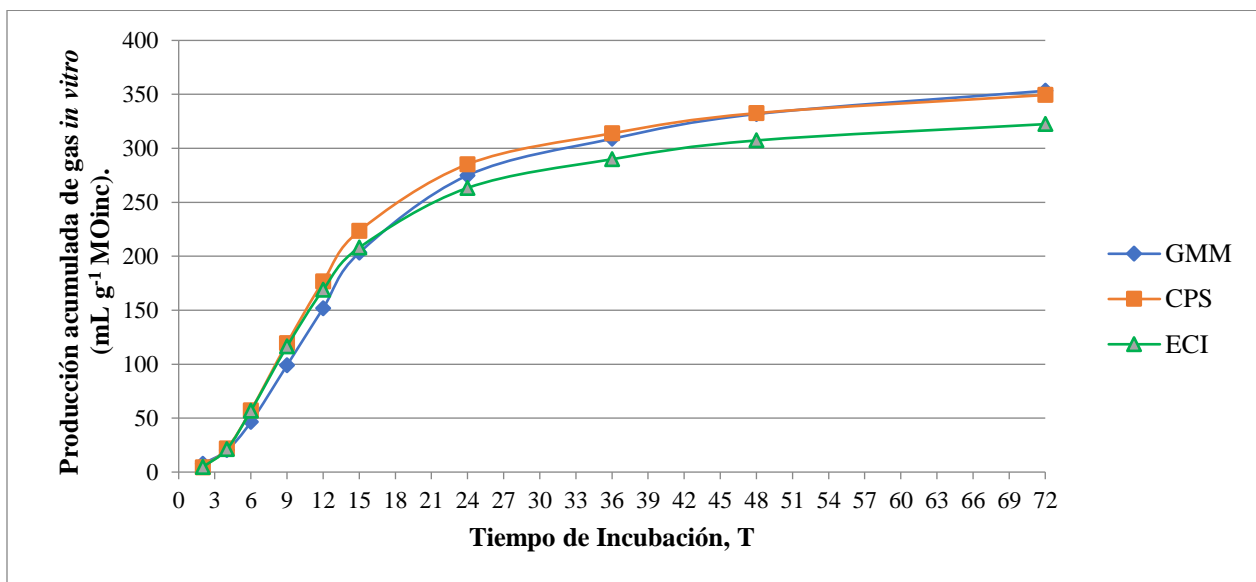


Figura 1. Producción acumulada de gas (PAGiv) en función de las horas de incubación (T).

Sin embargo, no se sabe en que forma, ya sea degradando parte de la fracción soluble de almidón, lo que disminuiría la proporción entre la fracción soluble y la más resistente a la degradación, pero también afectando alguna característica morfológica del grano, el arreglo espacial de la molécula, la relación amilosa-amilopectina u otro aspecto. Solís (2020) ha informado de pérdidas de almidón en el proceso de ensilaje de 11.0%, pero Martínez *et al.*, (2014) indicaron que en el proceso de ensilaje las bacterias utilizan los azúcares pero no los almidones.

Los parámetros cinéticos de producción de gas *in vitro* a partir del modelo de Gompertz mostraron un R^2 superior a 0.98 (tabla 3). El potencial de producción de gas (parámetro A) a las 72 horas resultó mayor para el GMM, seguido por CPS y ECI. En el material pre seco y ensilado, el menor valor de A pudo estar relacionado principalmente con un menor contenido de almidón, mayor contenido de FDN o menor degradabilidad del almidón.

Tabla 3. Parámetros cinéticos de la producción acumulada de gas de las mezclas integrales y el GMM, según modelo de Gompertz.

| Tratamiento | Parámetro A (\pm EE) ⁽¹⁾ | Parámetro B (\pm EE) ¹ | Parámetro C (\pm EE) ¹ | EE ⁽²⁾ | R ² | V _{máx} | T _{Vmáx} |
|-------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------------|
| GMM | 348.88 (\pm 2.59) | 4.03 (\pm 0.17) | 0.13 (\pm 0.004) | 19.29 | 0.98 | 16.68 | 10.72 |
| CPS | 337.02 (\pm 2.24) | 4.16 (\pm 0.18) | 0.15 (\pm 0.004) | 17.57 | 0.98 | 18.60 | 9.50 |
| ECI | 311.79 (\pm 2.21) | 4.06 (\pm 0.18) | 0.15 (\pm 0.004) | 17.38 | 0.98 | 17.20 | 9.34 |

⁽¹⁾ Error estándar del parámetro; ⁽²⁾ Error estándar de la curva; Parámetro A: mL g⁻¹ MOinc; Parámetro B: mL h⁻¹; Parámetro C: h⁻¹; T_{Vmáx}: h⁻¹; V_{máx}: mL g⁻¹ MOinc h⁻¹

El tiempo de colonización o hidratación del sustrato (fase lag) fue de 2.53, 2.61 3.03 horas para CPS, ECI y GMM, respectivamente, lo que se relacionó con las velocidades que estos presentaron en la fase inicial de incubación. Con respecto a la velocidad de producción de gas, la mayor velocidad se obtuvo entre las 4 y 12 horas de incubación, producto de una mayor actividad microbiana, seguida por el periodo entre 0 y 4 horas, con la menor entre las 12 y 72 horas, con velocidad promedio por periodo de 17.3, 5.24 y 2.38 mL h⁻¹, respectivamente, comportamiento debido a la menor disponibilidad de carbohidratos de fácil degradabilidad. La velocidad promedio de producción de gas por tratamiento (parámetro B) resultó mayor para CPS y muy similar entre GMM y ECI, lo que indicó mayor actividad fermentativa con CPS, respuesta que se relacionó con su alto contenido de azúcares. La FDN de las mezclas de camote también pudo contribuir al aporte energético durante el proceso fermentativo, producto de su contenido y naturaleza. En dietas para bovinos con alto nivel de sustitución del GMM por ECI e incubación *in vitro* por 24 horas, Solís *et al.* (2021) obtuvieron incrementos en la degradabilidad de la FDN en la medida que aumentó el nivel de ECI. El parámetro C, una estimación de la capacidad de síntesis de masa microbiana, indicó que las mezclas integrales de camote lograron mayor síntesis, producto que estas propiciaron inicialmente un mayor crecimiento microbiano, comportamiento que favoreció la degradación del sustrato y crecimiento de la masa microbiana.

Las mezclas de camote presentaron mayor velocidad máxima de producción de gas (V_{máx}) y menor tiempo de incubación para lograr V_{máx}, comportamiento que de acuerdo con Rodríguez *et al.*, (2017) está relacionado con una mayor eficiencia microbiana (parámetro C). Por su parte, Getachew *et al.*, (2004) indicaron que la velocidad a la que los componentes químicos se fermentan es un reflejo del crecimiento de los microorganismos y su accesibilidad al sustrato fermentable. Bajo estas consideraciones, se plantea que la matriz proteica que envuelve y protege los gránulos de almidón del GMM afectó negativamente sus parámetros cinéticos.

La velocidad de producción de gas en función del tiempo de incubación (figura 2) muestra que este comportamiento depende de la naturaleza del sustrato. En este sentido, las mezclas integrales de camote presentaron mayores velocidades y alcanzaron la velocidad máxima en menor tiempo que el GMM, comportamiento que se relacionó con la naturaleza y composición del sustrato en términos de azúcares, almidones y calidad de la FDN, componentes que hicieron un rápido aporte de energía que favoreció la actividad microbiana. Por otra parte, el grano de maíz mostró menor

velocidad inicial pero mayor velocidad en la fase descendente de esta variable que las mezclas integrales de camote, comportamiento que se relaciona con la ruptura de su matriz proteica.

Resultados *in vivo* con dietas de sustitución hasta 100% del GMM por ECI (Solís y Ruiloba 2017) y por tubérculo de camote fresco (Ruiloba *et al.*, 2021) para crecimiento y engorde de bovinos machos indicaron igual respuesta en la ganancia de peso vivo entre tratamientos, comportamiento atribuido al sobrepaso ruminal de almidón, producto de su menor degradabilidad, pero también a un nivel adecuado de fermentación ruminal favorecido por los azúcares, fracción soluble de almidón y degradabilidad de la FDN aportada por el camote.

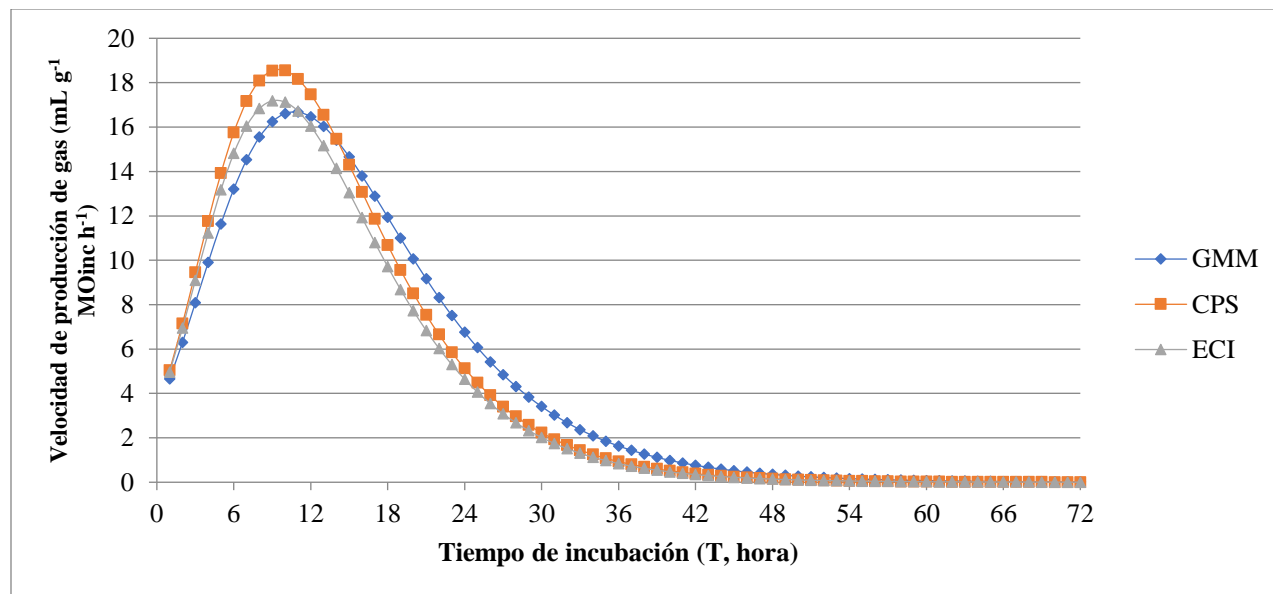


Figura 2. Velocidad de producción de gas ($\text{mL g}^{-1} \text{MOinc h}^{-1}$) de las mezclas integrales y el grano de maíz en función del tiempo de incubación.

Los resultados obtenidos en el presente estudio apoyan estas consideraciones debido a que las mezclas de camote presentaron menor producción potencial de gas que el GMM, en especial ECI. Sin embargo, estas mezclas presentaron mayor actividad fermentativa en la fase inicial, comportamiento relacionado con una rápida fermentación de azúcares y fracción soluble del almidón, actividad que ocurrió a un menor nivel en la fase posterior al $T_{V_{\max}}$. Estas mezclas presentaron en promedio solo el 93.3% de la producción acumulada potencial del GMM, pero el tiempo de estancia de los almidones y otros componentes de fácil fermentación en el rumen no es mayor de 24 horas (Herrera *et al.*, 1990), ya que los almidones de los cereales se degradan entre 80.0 y 95.0% en este periodo de tiempo. Se infiere que esta disminución en la actividad fermentativa de las mezclas de camote fue producto del agotamiento de los azúcares y disminución fermentativa de la fracción de almidón, lo que en condiciones *in vivo* posibilita su salida del rumen a las partes bajas del tracto gastrointestinal donde es absorbido como glucosa. De acuerdo con Owens *et al.* (1986), cuando el almidón es sobrepasante presenta mayor eficiencia de utilización intestinal (hasta 42.0% más) que cuando se fermenta en el rumen. Otro aspecto que apoya las respuestas productivas *in vivo* es el mayor crecimiento de la masa microbiana (parámetro C del modelo de Gompertz) que se obtuvo con las mezclas integrales de camote, comportamiento que favorece un mayor aprovechamiento de los sustratos consumidos por el animal.

CONCLUSIONES

- La mezcla integral de camote pre secada presentó un mejor comportamiento fermentativo en el tiempo que el grano de maíz y ensilaje integral de camote.
- La mezcla integral de camote pre secada presentó mayor producción acumulada de gas que la mezcla integral ensilada.
- Las mezclas integrales de camote presentaron mayor velocidad promedio de producción de gas pero menor producción acumulada de gas que el grano de maíz.

REFERENCIAS

- Agama, E., Juárez, E., Evangelista, S., Rosales, O. and Bello, L. (2013). Characteristics of maize starch and relationship with its biosynthesis enzymes, *Agrociencia*, 47, 1–12.
- Aliaga, P. y Nieto, C. (2009). Contenido de azúcares en raíces reservantes de 106 clones de camote (*Ipomoea batatas* (L .) Lam .) de la colección de germoplasma, *Anales científicos UNALM*, 70(2), 1–10.
- Backer, J., Ruíz, M. and Pinchinat, A. (1980). The use of sweet potato (*Ipomoea batatas*, (L) Lam) in animal feeding II, *Trop Anim Prod*, 5(2), 152–160.
- Bernstein, J. (1983). *Análisis de alimento*. Tomo 1. Edited by A. L. Wintra and K. B. Winto. Pueblo y Educacion.
- Casas, G.A., Rodríguez, D. y Téllez, G.A., 2010. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(3).
- Corcuera, V., Salmoral, E., Pennisi, M., Kandus, M. y Salerno, J. (2016). Análisis composicional cuanti-cualitativo de los macronutrientes del grano de híbridos de maíz con valor mejorado (VEC) desarrollados para la industria alimentaria argentina, *UNLZ*, 3(2), 37–51.
- DeBlas, C., García, P., Gorrachategui, M. y Mateos, G. (2019). *Maíz Nacional. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Cuarta Edi, FEDNA. Cuarta Edi*. Edited by FEDNA. Madrid, España.
- Di-Rienzo, A., Casanoves, F., Balzarini, G., González, L., Tablada, M. and Robledo, W. (2012). Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available at: <http://www.infostat.com.ar>.
- Getachew, G., Robinson, P. H., Depeters, E. J. y Taylor, S. J. (2004). Relationships between chemical composition, dry matter degradation and in vitro gas production of several ruminant feeds, *Animal Feed Science and Technology*, 111, 57–71.
- Goering, H. K. and VanSoest, P. J. (1970). *Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures)*. Agricultur. Edited by USDA. Washington, D.C.

- Gómez, S., Torres, V., Medina, Y., Rodríguez, Y., Sardiñas, Y., Herrera, M. y Rodríguez, R. (2019). Application of the linear mixed and generalized mixed model as alternatives for analysis in experiments with repeated measures, *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(1), 7–12.
- Grüneberg, W. J., Ma, D., Mwangi, R. O. M., Carey, E. E., Huamani, K., Diaz, F., Eyzaguirre, R., Guaf, E., Jusuf, M., Karuniawan, A., Tjintokohadi, K., Song, Y., Anil, S., Hossain, M., Rahaman, E., Attaluri, S., Somé, K., Afauape, S., Adofo, K., Lukonge, E., Karanja, L., Ndirigwe, J., Ssemakula, G., Agili, S., Randrianaivoarivony, J., Chiona, M., Chipungu, F., Laurie, S., Ricardo, J., Andrade, M., Rausch, F., Mello, A., Khan, M., Labonte, D. y Yenchó, G. (2015). Advances in Sweetpotato Breeding from 1992 to 2012, in Al., J. L. et (ed.) *Potato and Sweetpotato in Africa: Transforming the Value Chains for Food and Nutrition Security*, 3–68.
- Herrera, R., Gomez, R., Torabi, M., and Huber, J. (1990). Influence of Synchronizing Protein and Starch Degradation in the Rumen on Nutrient Utilization and Microbial Protein Synthesis. *Journal of Dairy Science*, 73, 142–148. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78657-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78657-2).
- Latimer, G. W. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International*. 20th edn. Rockville, MD: AOAC International.
- Marrero, Y., Rodríguez, D., Galindo, J., Aldama, A., Moreira, O. y Noda, A. (2007). Población microbiana ruminal e indicadores fermentativos en bovinos que consumen caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y concentrado, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(2), 148–156.
- Marta, H., Suryadi, E. y Ruswandi, D. (2017). Chemical Composition and Genetics of Indonesian Maize Hybrids, *American Journal of Food Technology*, 12(2), 116–123.
- Martínez, A., Argamentería, A. y De-La Rosa, B. (2014). *Manejo de forrajes para ensilar*. Edited by SÉRIDA. Asturias, España.
- Martínez, M., Palacios, I. y Medina, H. (2016). Composición química del grano de maíz (*Zea mays*) Chococito del Municipio de Quibdó, Colombia, *Revista Investigación Agraria y Ambiental*, 7:1.
- Massey, Z. A., Denney, W. W. y Southwell, B. L. (1976). Sweet potato meal in the ration for dairy cows.’, *Georgia Experimental Station, Circular 1*, 4.
- Megazyme (2017). Total starch assay procedure (amyloglucosidase/ α -amylase method). Ireland: Megazyme.
- Méndez, G., Solorza, J., Velázquez, M., Gómez, N., Paredes, O. y Bello, L. (2005). Chemical composition and calorimetric characterization of hybrids and varieties of maize cultivated in México, *Agrociencia*, 39(3), 267–274.
- Menke, K. and Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical

- analysis and in vitro gas production using rumen fluid', *Animal Research and Development*, 28, 7–55.
- Owens, F., Zinn, R. and Kim, Y. (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine.', *Journal of animal science*, 63(5), 1634–1648.
- Quezada, E. (2001). Evaluación nutricional del ensilado de follaje y raíces de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) en la alimentación de vacas lecheras. M.Sc. Thesis. UNALM.
- Ramos, E. (2016). Producción, densidad y disponibilidad in vitro del almidón de maíz y sorgo a varias velocidades de rolado al vapor. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Rodríguez, R., Borges, E., Gutiérrez, D., Elías, A., Gómez, S. y Moreira, O. (2017). Evaluación de la inclusión de *Moringa oleifera* en el valor nutritivo de ensilajes de *Cenchrus purpureum* cv. Cuba CT-169', *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(4), 447–457.
- Rodríguez, R., Lores, J., Gutiérrez, D., Ramírez, A., Gómez, S., Elías, A., Aldana, A. I., Moreira, O., Sarduy, L. y Jay, O. (2013). Inclusión del aditivo microbiano Vitafert en la fermentación ruminal in vitro de una dieta para cabras, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(2).
- Ruiloba, M. H., Maure, J. y Solís, C. (2021). Evaluation of the productive response of male cattle to the substitution of corn grain by different levels of fresh sweet potato tuber (*Ipomoea batatas* L.) in a fattening diet, *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(4), 381–389.
- Ruíz, M., Lozano, E. y Ruíz, A. (1981). Utilization of sweet potatoes (*Ipomoea batata* (L.) Lam) in animal feeding III. Addition of various levels of roots and urea to sweet potato forage silages, *Trop Anim Prod*, 6(3), 234–244.
- SAS (2010). User's guide: Statistics. Version 9.3. Cary, N.C., USA. SAS Institute.
- Shapiro, S. and Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples), *Biometrika*, 52(3–4), 591–611.
- Singh, J., Dartois, A. y Kaur, L. (2010). Starch digestibility in food matrix: a review, *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd, 21(4), 168–180.
- Solís, C. (2020) Obtención y evaluación nutricional del ensilado integral de camote presecado (*Ipomoea batata*, L.) como sustituto energético del grano de maíz (*Zea mays*) en dietas para vacunos en crecimiento. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad Agraria de la Habana - Fructuoso Rodríguez. Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba.
- Solís, C., Rodríguez, R., Marrero, Y., Moreira, O., Medina, Y., González, N. y Ruiloba, M. H. (2021). Efecto del ensilado integral de camote (*Ipomoea batata*) como sustituto del grano de maíz en la producción de gas in vitro y otros indicadores de la fermentación ruminal, *Livestock Research for Rural Development*, 33(2, Art. #20).

- Solís, C., Rodríguez, R., Marrero, Y., Moreira, O., Sarduy, L. y Ruiloba, M. H. (2020). Changes in the in vitro ruminal fermentation dynamics of diets for cattle , based on corn grains and different levels of sweet potato (Ipomoea batatas , L .) integral silage, Cuban Journal of Agricultural Science, 54(1), 10.
- Solís, C. y Ruiloba, M. H. (2017). Evaluation of different levels of integral silage of sweet potato (Ipomoea batatas) as energetic source for growing cattle, Cuban Journal of Agricultural Science, 51(1), 35–46.
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B. y France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds, Animal Feed Science and Technology., 48(3–4), 185–197.