RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PASTO NATURAL DE DEHESA, LA FERMENTABILIDAD Y LA PRODUCCIÓN DE METANO *IN VITRO*

Espinosa Sánchez, A.[(1)], **Galea-Gragera, F.A.** [(3)], **Martín Bellido, A.J.** [(1)], **Barraso Gil, C.**[(2)], **Rodríguez Medina, P.L.** [(1)], **Llera Cid, F.** [(3)].

(1) Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Extremadura, 10003, Cáceres, España. aespinosa84@unex.es
(2) Departamento de Producción Animal, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura, 06187. Guadajira, España.
(3) Área de Pastos y Cultivos Forrajeros. Instituto de Investigaciones Agrarias Finca La Orden-Valdesequera perteneciente al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura, 06187. Guadajira, España.

RESUMEN

Los pastos naturales de dehesa sustentan la ganadería extensiva del suroeste peninsular y presentan marcada variación estacional de su valor nutritivo. El objetivo fue evaluar la relación entre la composición químico-nutritiva del pasto, su fermentabilidad (estimadora del contenido energético) y la producción de metano *in vitro*. De 216 muestras recogidas en dos dehesas, en otoño, invierno y primavera, bajo fertilización fosfórico-potásica, se seleccionaron 16 mediante el procedimiento Kennard-Stone. La proteína bruta difirió entre épocas ($p < 0,0001$), 14,49 % en otoño y 6,45 % en primavera. La producción de gas (53,77–221,64 mL/g MS) y metano (1,16–12,84 mL CH_4/g MS) mostró amplia variabilidad, sin efectos significativos de época, dehesa o fertilización. La producción de gas *in vitro* resultó útil para la caracterización energética preliminar y Kennard-Stone abarcó la amplia variabilidad inicial.

INTRODUCCIÓN

Los pastos naturales de dehesa son la base de la alimentación en los sistemas ganaderos extensivos del suroeste peninsular. A lo largo del año, la disponibilidad cuantitativa y la composición químico-nutritiva del forraje varían drásticamente, existiendo poca información sobre su valor nutritivo real.

El sector ganadero está siendo examinado de cerca a nivel mundial por su aportación a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), donde el metano entérico (CH_4) derivado de la digestión de los rumiantes se identifica como el principal agente de impacto en este sector. La intensidad de estas emisiones por unidad de producto final y la consiguiente pérdida de energía de la dieta para el animal dependen de forma directa del perfil bioquímico de la planta consumida.

La producción de gas in vitro permite evaluar ambas cuestiones, el valor energético de un forraje y su potencial metanogénico

OBJETIVOS

El objetivo fue evaluar la relación entre la composición químico-nutritiva del pasto, su fermentabilidad y la producción de metano in vitro, además de comprobar la efectividad del algoritmo Kennard Stone como herramienta de cribado preliminar para la selección de muestras a partir de un conjunto inicial grande.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo. Las muestras proceden del proyecto BIOLEG y se tomaron en dos dehesas con distinto historial de manejo: Los Llanazos (Las Torres), con pastos previamente mejorados mediante la introducción de especies pratenses, y Valdesequera, con pastos naturales sin mejora previa. El diseño fue factorial, con fertilización fosfórica (0, 18 y 36 kg de P_2O_5/ha) y potásica (0, 40 y 80 kg de K_2O/ha), realizándose muestreos en otoño, invierno y primavera (Figura 1).

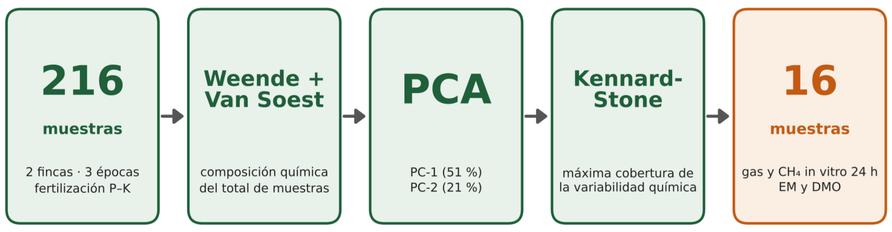


Fig. 1: Flujo de trabajo del estudio

Análisis químico y estimación del valor nutritivo. La composición química se determinó mediante Weende (Reglamento (CE) nº 152/2009) y Van Soest (FND, FAD y LAD), y el valor nutritivo se estimó según INRA (Baumont *et al*., 2018).

Selección de muestras (Figura 2). Se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (PCA) sobre la composición química del total de muestras (n = 216). Posteriormente, utilizando el algoritmo de Kennard-Stone (Kennard y Stone, 1969), se seleccionaron las 16 muestras más representativas.

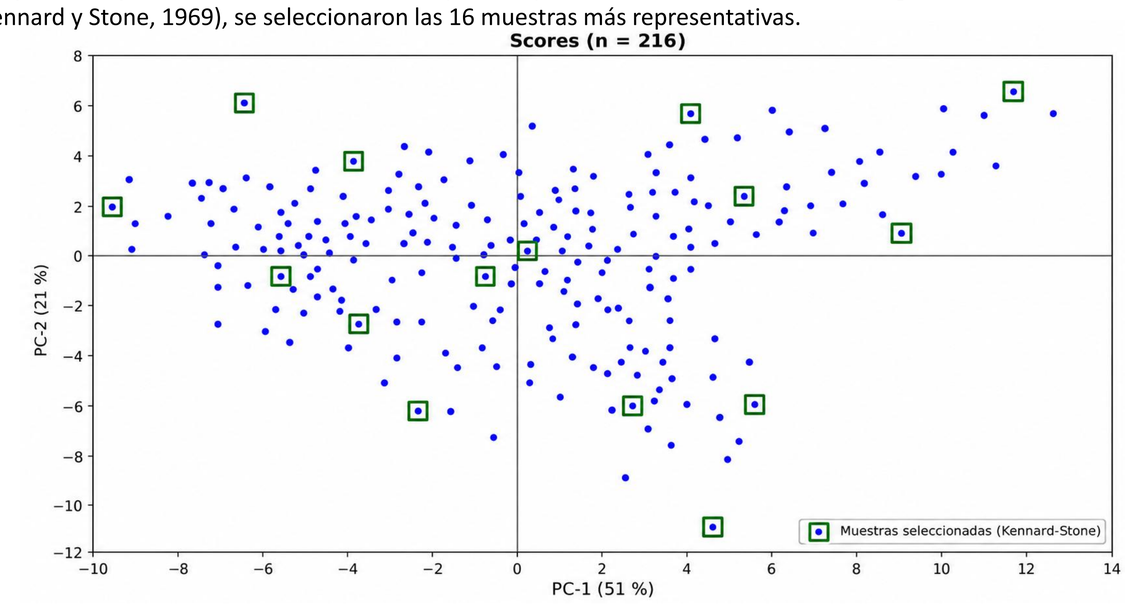


Fig. 2: Mapa de puntuaciones del PCA de la composición química y muestras seleccionadas mediante Kennard-Stone (n = 16).

Fermentación *in vitro*. Se siguió el test de gas de Hohenheim (Menke *et al*., 1979) con inóculo fecal ovino (Aiple *et al*., 1992): 200 g de heces en 1000 mL de saliva artificial, bajo CO_2 y a pH 6,8. Se incubaron 0,2 g de sustrato con 30 mL de inóculo a 39 °C durante 24 h, con blancos y alfalfa como patrón (Figura 3). El gas producido se expresó en mL/g MS, corregido por los blancos, y el CH_4 se cuantificó con un detector GMI PS200 en circuito cerrado.

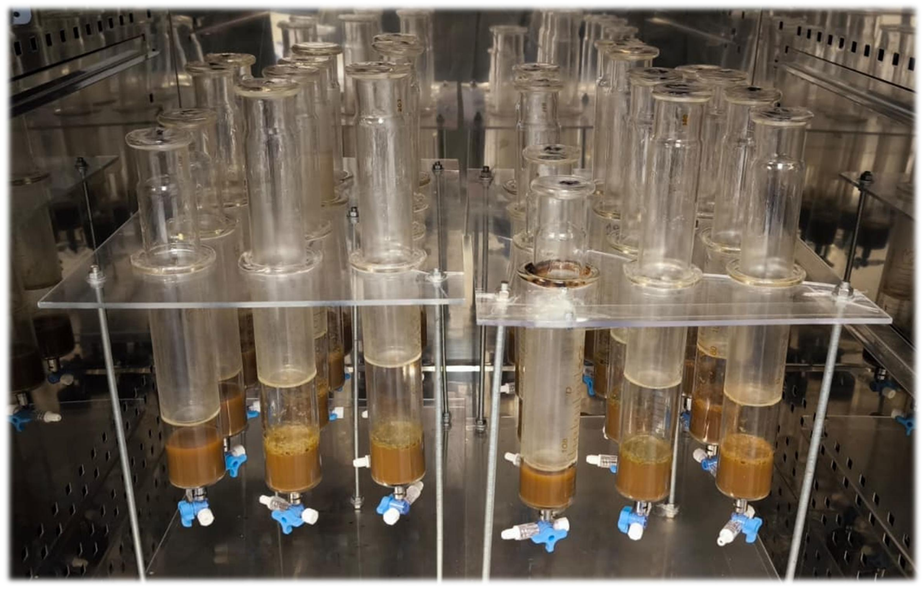


Fig. 3: Jeringas de vidrio con sustrato e inóculo fecal ovino, incubadas a 39 °C durante 24 h en la estufa de fermentación (test de gas de Hohenheim).

Cálculo de EM y DMO. A partir del gas producido se determinaron la energía metabolizable (EM) y la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) de cada muestra según Menke *et al* (1979).

Estadística. Los parámetros analizados se describieron mediante la media y la desviación típica. Las diferencias se evaluaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) de una vía y la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$). La relación entre la composición química y la producción de gas y CH_4 se evaluó mediante correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química y valor nutritivo. La proteína bruta (PB) difirió entre épocas ($p < 0,0001$; Figura 4). En otoño alcanzó el 14,49 %, en el límite superior del 14-15 % descrito para pastos de dehesa (Olea *et al*., 2011; Vázquez *et al*., 2002). En primavera descendió al 6,45 %, por debajo del valor orientativo del 7 % habitualmente utilizado como referencia de suficiencia proteica en dietas de rumiantes, a partir del cual se estabiliza la degradación ruminal de la fibra (Lazzarini et al., 2009; Sampaio et al., 2009). El valor nutritivo siguió la misma tendencia (Figura 5): los valores máximos correspondieron a muestras de otoño (1,10 UFL/kg MS; 102 g PDI/kg MS) y los mínimos a primavera (0,72 UFL/kg MS; 57 g PDI/kg MS).

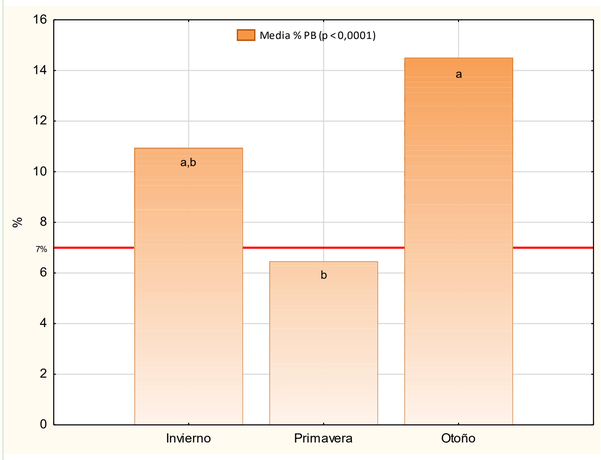


Fig. 4: *Proteína bruta media (% MS) según época de muestreo (p < 0,0001). Letras distintas indican diferencias significativas (p < 0,05). Línea roja: valor orientativo del 7 % de PB*

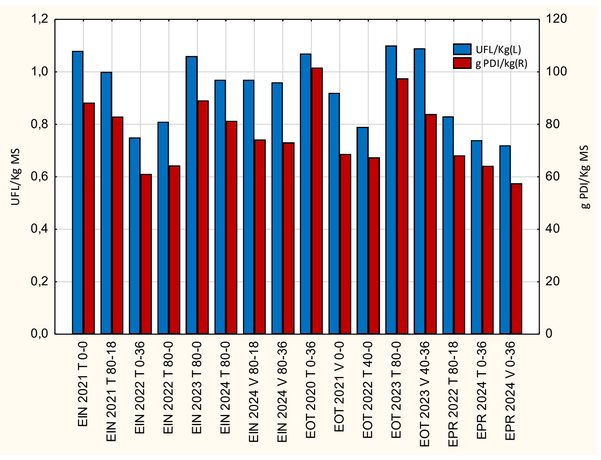


Fig. 5: *Valor nutritivo estimado (*Baumont *et al*., 2018*) de las muestras evaluadas (por kg MS)*

Producción de gas y metano. La producción de gas (53,77–221,64 mL/g MS) y de CH_4 (1,16–12,84 mL/g MS) varió ampliamente entre muestras ($p < 0,0001$; Figura 6), sin efectos significativos de finca ($p = 0,092$ y 0,066), época ($p = 0,184$ y 0,164) ni fertilización ($p = 0,379$ y 0,365) para el gas y el CH_4, respectivamente. En cambio, la producción de gas y de CH_4 se correlacionó negativamente con la FND ($r = -0,71$ y $-0,70$) y la FAD ($r = -0,66$ y $-0,62$) ($p \leq 0,01$), sin relación con la PB. Ambas variables estuvieron estrechamente correlacionadas entre sí ($r = 0,98$; $p < 0,0001$). El patrón de alfalfa produjo 135,85 mL de gas/g MS y 6,26 mL CH_4/g MS. Los valores más bajos de CH_4 fueron comparables a los de recursos de baja metanogénesis, como la hoja de olivo (1,72–2,49 mL CH_4/g; Barraso Gil, 2022). La amplitud de estos rangos confirma que Kennard-Stone seleccionó muestras heterogéneas. Sin embargo, 16 muestras resultan insuficientes para modelizar el efecto de todos los factores implicados

EM y DMO. La EM (0,97–2,24 Mcal/kg MS) y la DMO (37,41–69,34 %) siguieron el mismo patrón que la producción de gas (Figura 7). Las muestras con menos EM y DMO quedaron por debajo de la paja de trigo (≈1,3 Mcal EM; 42 % DMO). Las de más EM y DMO se acercaron a gramíneas en estado vegetativo, como la avena en espigado (2,22 Mcal EM) o *Festuca arundinacea* (71 % DMO) (Baumont *et al*., 2018).

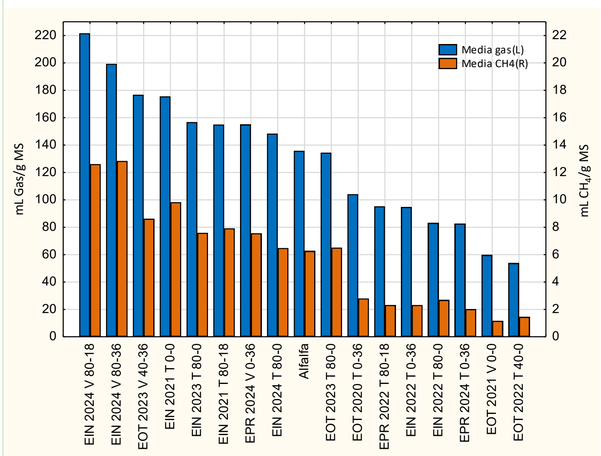


Fig. 6: Producción de gas total (mL/g MS) y de metano (mL CH_4/g MS) a 24 h de las muestras evaluadas y del patrón de alfalfa. ANOVA de la producción de CH_4: Finca p = 0,066 · Época p = 0,164 · Fertilización p = 0,365

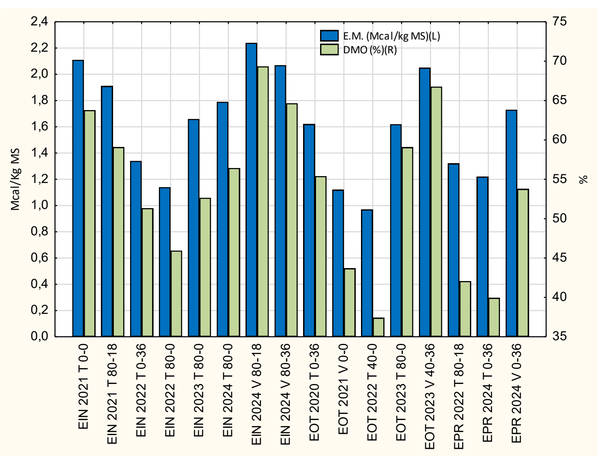


Fig. 7: Energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica estimadas a partir de la producción de gas *in vitro* (Menke y Steingass, 1988).

CONCLUSIONES

1. La composición química y el valor nutritivo del pasto natural de dehesa mostraron una marcada estacionalidad. La PB fue máxima en otoño y mínima en primavera, por debajo del umbral del 7 % necesario para la actividad ruminal, y las UFL y la PDI siguieron la misma tendencia.
2. La producción de gas y de CH_4 *in vitro* fue muy variable entre muestras y no se detectaron efectos estadísticamente significativos de la época de muestreo, la finca ni la fertilización. Sí se asoció negativamente con el contenido en fibra (FND y FAD).
3. La técnica de producción de gas *in vitro* resultó útil para la caracterización energética preliminar (EM y DMO) de estos pastos.
4. El algoritmo de Kennard-Stone, aplicado sobre la composición química, permitió seleccionar 16 muestras que abarcaron una amplia variabilidad del conjunto original de 216, respaldando su utilidad como herramienta de cribado preliminar. Aun así, el tamaño muestral limita la detección de efectos, y las siguientes fases requerirán un mayor número de fermentaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Aiple et al., 1992. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1992.tb00583.x
Barraso Gil, 2022. https://dehesa.unex.es/entities/publication/d7e835cc-3a4b-4130-949e-ec15c8f9db34
Baumont et al., 2018. https://hal.inrae.fr/hal-02786443
Hariadi & Santoso, 2010 https://doi.org/10.1002/jsfa.3839
Kennard & Stone, 1969. https://doi.org/10.1080/00401706.1969.10490666
Lazzarini et al., 2009. https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001000024
Menke et al., 1979. https://doi.org/10.1017/S0021859600086305
Sampaio et al., 2009. https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000300023
Vázquez de Aldana et al., 2002. https://digital.csic.es/handle/10261/23911

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto BIOLEG. El proyecto se enmarca en el Programa Operativo FEDER Extremadura 2021-2027.Actuación 1A1103. Desarrollo de la capacidad de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación, cofinanciado al 85%.