VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Efecto de la inclusión de harina de mezquite en la materia seca y pH de microensilados de Agave en la fase inicial de fermentación

Effect of mezquite pod flour inclusion on dry matter and pH in Agave microsilages during the initial fermentation stage

Daniela Zavala Padilla[1], María Clarissa Hernández Morales[1], Sarah Anaid Reyes Gutiérrez[1], Luis Antonio Chaurand Cervantes[1], Diana Angélica Gutiérrez Arenas[1*]

[1]Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, División de Ciencias de la Vida, Programa Educativo de Medicina Veterinaria y Zootecnia, México.
diana.gutierrez@ugto.mx[1*]

Resumen

El uso de recursos alimenticios no convencionales representa una alternativa estratégica para mitigar los costos de producción pecuaria en zonas áridas y semiáridas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el acondicionamiento físico, la determinación gravimétrica de Materia Seca (%MS) y el comportamiento del potencial de hidrógeno (pH) en la fase inicial de la fermentación de microensilados formulados con *Agave mapisaga* adicionados con harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) como fuente proteínica. Se evaluaron inclusiones de harina de vaina de mezquite (VM) al 0%, 10% y 20%. La harina de vaina de mezquite presentó un porcentaje de humedad residual de 3.07%, correspondiente a un elevado contenido de materia seca (96.93%). La adición de la harina de mezquite permitió estructurar microensilados con 26.7% (10% VM) y 31.3% (20% VM) de materia seca. Las lecturas potenciométricas mostraron una acidez inicial altamente estable con un pH de 4.7 a 4.8 para los tratamientos suplementados, valores comparables con el tratamiento testigo (sin inclusión de agave; 4.75). La baja humedad residual y la pronta estabilización del pH confirman que la vaina de mezquite es un sustrato idóneo para acondicionar y conservar forrajes mediante fermentación anaerobia, además de que puede ser una fuente potencial para mejorar el valor proteínico del ensilado.

Palabras clave: Prosopis laevigata; *Agave mapi*saga; forraje, ensilado.

Abstract

The use of non-conventional feed resources represents a strategic alternative to mitigate livestock production costs in arid and semi-arid regions. The objective of this study was to evaluate the physical conditioning, gravimetric determination of Dry Matter (%MS), and the behavior of hydrogen potential (pH) during the initial fermentation phase of microsilages formulated with Agave mapisaga supplemented with mezquite pod flour (Prosopis laevigata) as a protein source. Mezquite pod flour (VM) was included at levels of 0%, 10% and 20%. The mesquite pod flour exhibited a residual moisture content of 3.07%, corresponding to a high dry matter content (96.93%). The addition of mezquite flour enabled the formulation of microsilages with 26.7% (10% VM) and 31.3% (20% VM) of dry matter. Potentiometric measurements showed highly stable initial acidity, with pH values ranging from 4.7 to 4.8 in the supplemented treatments, which were comparable values comparable to the control treatments (without mezquite pod flour inclusion, pH 4.75). The low residual moisture content and the rapid stabilization of pH confirm that mezquite pod flour is an ideal substrate for conditioning and preserving forages through anaerobic fermentation. Furthermore, they may serve a potential source for improving the protein value of silage.

Keywords: Prosopis laevigata; *Agave mapisaga*; forage; silage.

Introducción

El sector pecuario en el centro y norte de México se enfrenta constantemente al desafío de estrés hídrico y la variabilidad climática, fenómenos que limitan severamente la disponibilidad de forrajes convencionales de alta calidad e incrementan significativamente los costos de alimentación. Bajo este escenario, el aprovechamiento biotecnológico de recursos vegetales autóctonos o adaptados cobra una relevancia estratégica.

Entre la heterogeneidad de flora en zonas áridas y semiáridas destacan especies con elevado valor nutricional y adaptativo como el mezquite (*Prosopis laevigata*), es una leguminosa arbórea perenne distribuida ampliamente en la región del Bajío y en el estado de Guanajuato[10], caracterizada por la producción de vainas ricas en azúcares solubles y proteína lo que lo convierte en una fuente energética y proteínica con grandes aptitudes para la nutrición animal. Durante la época de estiaje, sus vainas constituyen un recurso rico en nutrientes; el mesocarpio concentra una alta densidad de carbohidratos solubles (principalmente sacarosa) que incrementan la palatabilidad, mientras que el endocarpio y sus semillas aportan entre 11% y 14% de proteína cruda y fibra indispensable para la función ruminal[5]. Por otro lado, especies de maguey como el *Agave mapisaga*, destacan por su eficiente metabolismo hídrico y su gran acumulación de biomasa digestible, constituyendo una opción forrajera clave durante las épocas de mayor sequía.

El maguey pulquero (*Agave mapisaga*) provee volúmenes masivos de biomasa suculenta rica en agua y carbohidratos de reserva (fructanos) con una elevada degradabilidad *in vitro*[8]. Al combinar la matriz húmeda del agave con la baja humedad y la densidad energética de la harina de vaina de mezquite, se genera un sustrato idóneo para la conservación anaerobia mediante ensilaje.

Con el fin de validar el potencial de estos recursos forrajeros locales, este estudio tuvo como objetivo evaluar el acondicionamiento físico, la determinación gravimétrica de materia seca (%MS) y el comportamiento del pH durante el monitoreo fermentativo de microensilados formulados a base de *Agave mapisaga* suplementados con diferentes niveles de inclusión (0%, 10% y 20%) de harina de vaina de mezquite.

Materiales y métodos

El trabajo experimental y los análisis de laboratorio se llevaron a cabo en el Laboratorio de Bromatología y Laboratorio de Tecnologías para la sustentabilidad de la División de Ciencias de la Vida (DICIVA), Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

Colecta y acondicionamiento de biomasa

Se cosecharon manualmente vainas maduras de *Prosopis laevigata* en campo, descartando material deteriorado o con exceso de humedad ambiental. Para la preparación de la biomasa de agave, se realizó un picado mecánico mediante una picadora de forraje para homogenizar el tamaño de la partícula. Las vainas de mezquite se sometieron a secado térmico en estufa de aire forzado a 60°C durante 48 h y posteriormente a una molienda secuencial en un molino eléctrico para granos secos para la obtención de harina fina mediante fragmentación y pulverización.

Determinación gravimétrica de humedad y Materia Seca (%MS)

El porcentaje de humedad en la harina de vaina de mezquite se determinó por pérdida de peso térmico en estufa de secado hasta alcanzar peso constante. La Materia Seca se calculó mediante la relación:

$$\text{Materia Seca (\%MS)} = 100 - \%\ \text{Humedad}$$

Formulación de tratamientos y microensilado

Con ayuda de una balanza analítica de precisión, se pesaron las cantidades exactas de biomasa fresca de *Agave mapisaga* para los tratamientos, 0%, 10% y 20% (1000 g, 900 g y 800 g, respectivamente) y se incorporaron las proporciones correspondientes de harina de *Prosopis laevigata*. La mezcla se homogenizó

manualmente y se colocó en contenedores de plástico (microsilos) de 4 kg bajo condiciones de compactación anaerobia.

Monitoreo de pH

Se extrajeron alícuotas de los jugos de cada tratamiento para medir el pH mediante un potenciómetro digital portátil (*Oakton EcoTestr pH2+*), previamente calibrado con soluciones amortiguadoras a pH 4.0 y 7.0.

Resultados

El análisis gravimétrico de la harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) reportó un valor de humedad residual de 3.07%, lo cual corresponde a un contenido de Materia Seca del 96.93%. Este reducido nivel de humedad es una propiedad deseable en aditivos forrajeros, ya que permite absorber el exceso de humedad libre proveniente de la biomasa suculenta de *Agave mapisaga*, previniendo pérdidas por efluentes en los ensilados.
En el Cuadro 1 se presentan los parámetros gravimétricos y los pesos secos finales de los microensilados evaluados.

Cuadro 1. Materia seca de ensilados de *Agave mapisaga* adicionados con harina de *Prosopis laevigata* al inicio de la fermentación.

Tratamiento / Muestra	Inclusión de Mezquite (%)	Materia Seca (%)
Mezquite 0% (VM)	0%	16.7
Mezquite 10% (VM)	10%	26.7
Mezquite 20% (VM)	20%	31.3

VM= Vaina de mezquite

Las mediciones de pH en los ensilados mostraron una acidificación inicial favorable para el establecimiento de un ambiente de conservación anaerobio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de pH de ensilados de *Agave mapisaga* adicionados con harina de *Prosopis laevigata* al inicio de la fermentación.

Tratamiento / Muestra	Inclusión de Mezquite (%)	pH
Mezquite 0% (VM)	0%	4.75
Mezquite 10% (VM)	10%	4.70
Mezquite 20% (VM)	20%	4.75

VM= Vaina de mezquite

Discusión

El aprovechamiento de forrajes no convencionales en regiones áridas y semiáridas exige optimizar los procesos de fermentación anaerobia para evitar el deterioro microbiológico y deterioro de nutrientes (Mellado, 2016). En este estudio, las características fisicoquímicas de la harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y el material vegetativo de *Agave mapisaga* mostraron una complementariedad biotecnológica altamente favorable para la elaboración de microensilados.

El porcentaje de humedad residual registrado en la harina de vaina de mezquite (3.07%), correspondiente a un elevado contenido de Materia Seca (96.93 %MS), representa una propiedad funcional clave como ingrediente acondicionador. El *Agave mapisaga*, al ser una planta suculenta con metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), presenta un contenido de agua sumamente elevado. Al ensilarse de manera individual, este exceso de agua incrementa significativamente el riesgo de pérdidas de nutrimentos solubles por efluentes y promueve una fermentación clostridial indeseable (Pinos-Rodríguez et al., 2008).

La adición de la harina de *P. laevigata* al 10% y 20% absorbió eficazmente la humedad libre de la matriz de agave, permitiendo estructurar microensilados con una materia seca de 26.7% y 31.3%, respectivamente (Cuadro 1). Esta capacidad absorbente concuerda con lo reportado por Díaz-Batalla et al. (2006), quienes destacan que la harina de vaina de mezquite actúa como un eficaz ajustador de humedad en mezclas forrajeras gracias a su baja humedad y alta densidad de materia seca, reduciendo la actividad de agua y optimizando la compactación anaerobia.

El rango de pH observado en los tratamientos suplementados (4.7 y 4.75, respectivamente) fue consistente con el grupo testigo (4.75, Cuadro 2). Un descenso rápido de pH hacia valores cercanos a 4.8 o inferiores es un indicador crítico de acidificación, indispensable para inhibir la actividad de bacterias clostridiales y enterobacterias que degradan el valor proteico del forraje (McDonald et al., 1991; Kung et al., 2018).

La pronta estabilización de la acidez en el microensilado se atribuye a la elevada disponibilidad de carbohidratos no estructurales presentes de manera natural en ambos sustratos. Tanto las pencas de *Agave mapisaga* como las vainas de *Prosopis laevigata* destacan por su gran aporte de azúcares solubles como fructanos, sacarosa, glucosa y fructosa (Díaz-Batalla et al., 2006; Sauceda et al., 2014). Estos azúcares sirven como sustrato energético de rápida fermentación para la microbiota epífita de bacterias ácido-lácticas (BAL), las cuales sintetizan ácido láctico y garantizan la conservación del material a corto y mediano plazo.

Conclusiones

El secado y molienda de la vaina de mezquite produjo una harina con 96.93% de MS, demostrando su efectividad como acondicionador para ajustar la elevada humedad del *Agave mapisaga.* La inclusión de harina al 10% y 20% permitió estructurar microensilados con materias secas de 26.7 y 31.3%, respectivamente, reteniendo el agua libre y previniendo pérdidas de nutrimentos por efluentes. Asimismo, los tratamientos alcanzaron una acidez rápida y estable con valores de pH entre 4.7 y 4.8, similares al grupo testigo, garantizando un medio idóneo para frenar la fermentación clostridial y favorecer la conservación del forraje. La integración de ambos recursos representa una alternativa biotecnológica eficiente, económica y sustentable para la suplementación ganadera en periodos de estiaje en el semidesierto.

Bibliografía/Referencias

Armijo-Nájera, M. G., Moreno-Reséndez, A., Blanco-Contreras, E., Borroel-García, V. J., & Reyes-Carrillo, J. L. (2019). Vaina de mezquite (Prosopis spp.) alimento para el ganado caprino en el semidesierto. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(1), 113-122.

Barraza-Cardona, J. A., Arévalo-Gallegos, S., & Rentería-Monterrubio, A. L. (2019). Propiedades nutricionales de la vaina de mezquite (*Prosopis* spp.) y su uso potencial en la elaboración de alimentos fermentados para ganado. *Tecnociencia Chihuahua*, 13(2), 78-86.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2020). *Especies del género Prosopis (Mezquite) en México: Características botánicas y distribución ecológica*. CONABIO.

Díaz-Batalla, L., González-Cruz, M. E., & Castro-Ríos, K. (2018). Nutritional and physicochemical characteristic of mesquite pod flour (*Prosopis laevigata*). *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 2940–2950. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3212-0

García-López, J. C., Durán-García, H. M., José, A., Álvarez-Fuentes, G., Pinos-Rodríguez, J. M., Lee-Rangel, H. A., ... & Salinas-Rodríguez, M. (2019). Producción y contenido nutrimental de vainas de tres variantes de mezquite (*Prosopis laevigata*) en el Altiplano Potosino, México. *Agrociencia*, 53(6), 821-831.

Henciya, S., Seturaman, P., & Ramasamy, A. (2023). *Prosopis* pods as a potential source of bioactive compounds and nutritional value: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 132, 45-58. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.01.011

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP]. (2022). *Manejo sustentable y aprovechamiento integral del mezquite en el sector agropecuario de las zonas semiáridas*. INIFAP-Centro de Investigación Regional Centro.

Mata, M. A., Torres, M. G., Hernández, G., Cobos, M. A., Rodríguez, G., Luevano, A., ... & Gámez, M. M. (2011). Degradación in vitro de *Agave mapisaga*, *Agave salmiana* var. *salmiana* y *Agave salmiana* var. *ferox*. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 10(2), 123-129.

McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The Biochemistry of Silage*. 2nd Edition. Chalcombe Publications.

Mellado, M. (2016). Biomasa de especies áridas y semiáridas para la alimentación de rumiantes en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19(2), 175–193.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Sauceda, E. N. R., Martínez, G. E. R., Valverde, B. R., Ruiz, R. M., Hermida, M. D. L. C. C., Torres, S. M. M., & Ruiz, H. H. P. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193.