



# Extrusión húmeda y tratamiento químico del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp)

Ligia Johana Jaimes Cruz<sup>1\*</sup> ; Héctor Jairo Correa Cardona<sup>1</sup> ; Ángel Giraldo Mejía<sup>1</sup> .

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Medellín. Colombia.

\*Correspondencia: [ljjaimesc@unal.edu.co](mailto:ljjaimesc@unal.edu.co)

Recibido: Diciembre 2021; Aceptado: Julio 2022; Publicado: Septiembre 2022.

## RESUMEN

**Objetivos.** Evaluar el papel de la extrusión húmeda y la aplicación de dos compuestos alcalinos sobre la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) y fibra en detergente neutro (DIVFDN). **Materiales y métodos.** Se picaron 48 muestras de 51 días de rebrote y se asignaron a ocho tratamientos: pasto fresco, picado y deshidratado (CTRL); pasto crudo, picado y extruido (EXTR); EXTR tratado con 0.45, 0.90 y 1.35% de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) o urea durante 21 días en microsilos bajo condiciones aeróbicas (EXTR0.45Ca, EXTR0.90Ca, EXTR1.35Ca, EXTR0.45U, EXTR0.90U y EXTR1.35U, respectivamente). El contenido de materia seca (MS), nitrógeno (N), Calcio (Ca), Fibra Detergente Neutra (FDN), Lignina Detergente Ácida (LDA) y la DIVMS y DIVFDN fueron determinadas en cada muestra. **Resultados.** El EXTR presentó menor contenido de N, mayor contenido de FDN y mayor DIVFDN que CTRL. Por otro lado, el tratamiento con EXTR1.35Ca presentó la mayor concentración de Ca y la mayor DIVMS y DIVFDN, mientras que el tratamiento con EXTR0.90U presentó la mayor concentración de N y una DIVFDN estadísticamente similar a la de EXTR1.35Ca. **Conclusiones.** La extrusión húmeda solo de pasto maralfalfa aumenta el IVDNDF, sin embargo, la DIVMS y DIVFDN se maximizan cuando se tratan con 1.35% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

**Palabras clave:** Bagazo; biomasa; calcio; deslignificación; digestibilidad; *In vitro*; nitrógeno (Fuente: AGROVOC).

## ABSTRACT

**Objectives.** Test the effect of wet extrusion and the application of two alkaline compounds on the *in vitro* digestibility of dry matter (IVDDM) and neutral detergent fiber (IVDNDF) of maralfalfa grass. **Materials and methods.** 48 samples of 51 days of regrowth were chopped and assigned to eight treatments: raw, chopped, and dehydrated grass (CTRL); raw, chopped, and extruded grass (EXTR); EXTR treated with 0.45, 0.90, and 1.35% of lime ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) or urea for 21 days in micro-silos under aerobic conditions (EXTR0.45Ca, EXTR0.90Ca, EXTR1.35Ca, EXTR0.45U, EXTR0.90U, and EXTR1.35U, respectively). The content of dry matter (DM), nitrogen (N), calcium (Ca), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent lignin (ADL) and the *in vitro* digestibility of dry matter (IVDDM) and NDF (IVDNDF) were determined for each sample. **Results.** The EXTR presented lower N content, higher NDF content, and higher IVDNDF than the CTRL. On the other hand, the EXTR1.35Ca treatment

### Como citar (Vancouver).

Jaimes-Cruz LJ, Correa-Cardona HJ, Giraldo Mejía Á. Extrusión húmeda y tratamiento químico del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp). Rev MVZ Córdoba. 2022; 27(3):e2528. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2528>



©El (los) autor (es) 2022. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

showed the highest Ca concentration and the highest IVDDM and IVDNDF, while the EXTR0.90U treatment presented the highest N concentration and an IVDNDF statistically similar to that of the EXTR1.35Ca. **Conclusions.** The wet extrusion of maralfalfa grass alone increases IVDNDF; however, IVDDM and IVDNDF are maximized when treated with 1.35% of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

**Keywords:** Bagasse; biomass; calcium; delignification; digestibility; *In vitro*; nitrogen (*Fuente: AGROVOC*).

## INTRODUCCIÓN

El pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp) es una gramínea tropical caracterizada por su bajo contenido de proteína cruda y carbohidratos no-estructurales; sin embargo, posee altos contenidos de carbohidratos estructurales y lignina (1). Esta última es una estructura polimérica de unidades de fenilpropanoides que se combinan mediante enlaces éter y éster a la celulosa y hemicelulosa (2), pudiendo limitar la fermentación microbial o hidrólisis enzimática de estos carbohidratos, reduciendo su digestibilidad y el aporte de energía fermentable (3,4,5). El uso de suplementos alimenticios con alto contenido en carbohidratos no estructurales es habitual para compensar esta carencia energética en los sistemas de producción animal basados en gramíneas tropicales. Desafortunadamente, tiene efectos negativos como la reducción de la fermentabilidad de los carbohidratos estructurales (6,7,8) y una mayor probabilidad de problemas de alimentación como acidosis ruminal y laminitis (9,10) con lo que se afecta el bienestar animal, el rendimiento y los costos de producción. Además, el uso de materias primas de alto valor nutricional para los humanos, como el maíz, genera una competencia significativa entre humanos y especies animales por ese alimento. Este uso ha sido criticado durante décadas (11). Adicionalmente, incorporar estas materias primas aumenta los costos de producción y la dependencia de los mercados internacionales debido a que países como Colombia son importadores netos (12) y esta estrategia se vuelve contraproducente e insostenible en el tiempo.

Otra alternativa para solucionar la deficiencia energética de pastos como el maralfalfa por su alto contenido en lignina, es solubilizar los enlaces entre la lignina y los carbohidratos estructurales mediante métodos químicos, microbiológicos o físicos y sus combinaciones. La extrusión se destaca entre los métodos físicos. Es un procedimiento rápido que busca

romper parcialmente estos enlaces mediante la aplicación de presión, temperatura y resistencia al corte, mejorando así la digestibilidad de las paredes celulares (13). Recientemente (14), se demostró que la extrusión del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.)) incrementó la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (IVDNDF) en más del 36% y la del pasto maralfalfa en más del 20% (15). En otros alimentos fibrosos, como el salvado de trigo, se ha utilizado una combinación de varios pretratamientos termomecánicos y termomecánico-químicos como lo es la extrusión de doble tornillo combinado con tratamientos químicos como la aplicación de urea e hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (16). Sin embargo, no se conocen registros de esta combinación de tratamientos en pastos tropicales como la maralfalfa. La concentración de estos álcalis ha oscilado entre el 0.3 (17) y el 6.0% (18) según el material a tratar. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que el uso de urea aumenta el contenido de nitrógeno no proteico en el producto final hasta en 7 veces (19) y, en el caso de la cal, el contenido de cenizas y Ca se incrementa hasta 13 veces (20), lo que puede generar desequilibrios. Por lo tanto, es necesario utilizar concentraciones relativamente bajas de estos álcalis para evitar esos problemas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la extrusión sobre pasto maralfalfa y el del tratamiento del bagazo extrusionado con urea o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sobre la digestibilidad *in vitro* de la fibra en detergente neutro (DIVFDN).

## MATERIALES Y METODOS

**Localización.** Se recolectaron 48 muestras de aproximadamente 10 kg de pasto maralfalfa con 51 días de rebrote de un predio del municipio de Támesis (Antioquia, Colombia) ubicado a 2200 msnm. Cada muestra se cortó en trozos de 2 cm con una picadora de pasto y se distribuyeron aleatoriamente en ocho tratamientos (seis muestras/tratamiento).

**Tratamientos experimentales.** Los ocho tratamientos fueron pasto crudo y picado (CTRL), el cual se deshidrató a 60°C por 24 h; bagazo del pasto maralfalfa obtenido después de procesar el CTRL crudo en una extrusora cónica de un solo tornillo con una capacidad de procesamiento de aproximadamente 60 kg de materia verde/h (motor de 220 V; 5,0 HP; 1300 rpm) con salida de 1,0 mm (EXTR); EXTR sometido a delignificación química por 21 días con Ca(OH)<sub>2</sub> al 0.45, 0.90, y 1.35% de la materia seca (EXTR0.45Ca, EXTR0.90Ca, EXTR1.35Ca, respectivamente) o con urea a las mismas concentraciones (EXTR0.45U, EXTR0.90U, y EXTR1.35U, respectivamente). Las muestras CTRL y el bagazo obtenido después de la extrusión de las demás muestras se deshidrataron a 60°C durante 24 h en una estufa de aire forzado.

Para los tratamientos químicos, se añadieron 225, 450 o 675 mg de Ca(OH)<sub>2</sub> o urea a 12.5 ml de agua y se mezclaron vigorosamente. Posteriormente, se mezclaron manualmente con 50 g de las muestras secas de pasto maralfalfa (14.4% de materia seca) en botellas plásticas de 1 L (microsilos) con tapa rosca para obtener un material con 29.2% de agua añadida en base seca. Los microsilos se mantuvieron en condiciones aeróbicas (con aire atmosférico) y bajo sombra durante 21 días; luego, todas las muestras se deshidrataron nuevamente a 60°C por 24 h y se sometieron a los análisis correspondientes.

**Análisis químicos y físicos.** En todas las muestras se determinó el contenido de materia seca (MS), nitrógeno (N) y calcio (Ca) utilizando los procedimientos descritos por la AOAC para forrajes (21). Los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y lignina detergente ácido (LDA) se determinaron con base en los procedimientos de Van Soest et al (22). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIMS) y FDN (DIVFDN) se determinaron mediante una técnica enzimática de pepsina-celulasa descrita por Barchiesi et al (23). Todos los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia en Medellín.

**Análisis estadístico.** Los resultados se sometieron a un análisis de contrastes ortogonales utilizando el paquete estadístico SAS PROC GLM (24) en el que se compararon CTRL vs EXTR, CTRL vs QUÍMICO (los tratamientos con urea y Ca(OH)<sub>2</sub>), y EXTR vs tratamientos QUÍMICO.

Por otro lado, los tratamientos QUÍMICOS fueron analizados en un diseño anidado utilizando el mismo software, bajo el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + N(T_i) + e_{ijk}$$

donde  $Y_{ijk}$  es la variable de respuesta,  $\mu$  es la media de la población,  $T_i$  es el efecto del compuesto químico,  $N(T_i)$  es el efecto del nivel de aplicación anidado en el compuesto químico y  $e_{ijk}$  es el error experimental. La comparación de medias se realizó mediante el procedimiento LSMEANS.

Finalmente, a las muestras tratadas químicamente se les aplicó un análisis de regresión entre la concentración de Ca(OH)<sub>2</sub> y Urea, con la concentración de Ca y N.

## RESULTADOS

El tratamiento con pasto crudo (CTRL) presentó alto contenido de FDN y LDA pero bajo contenido de N (Tabla 1). El contenido de Ca fue normal (25). De acuerdo con los datos mostrados en la Tabla 1, las comparaciones fueron significativas para los componentes químicos analizados excepto por algunos resultados específicos (LDA y Ca en el Contraste 1; y MS, FDN y LDA en el Contraste 4). La extrusión (EXTR) permitió obtener un bagazo con mayor contenido de MS y FDN comparado con CTRL pero con menor contenido de N, sin evidencia de cambio en LDA y Ca.

**Tabla 1.** Composición química del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) crudo, del bagazo obtenido por extrusión y del bagazo extruido sometido a delignificación química.

Tratamientos	Fracción química % de MS					
	MS <sup>1</sup>	N	FDN	LDA	Ca	
CTRL	14.4	1.45	72.8	7.35	0.37	
EXTR	91.3	1.07	81.9	7.15	0.28	
QUÍMICOS	80.2	1.81	77.3	6.12	1.18	
Ca(OH) <sub>2</sub>	80.2	1.22	77.01	6.00	2.09	
UREA	80.2	2.40	77.5	6.22	0.26	
SEM <sup>2</sup>	2.19	0.02	2.41	0.37	0.03	
	1	0.001	0.001	0.001	0.574	0.383
Contrastes ortogonales <sup>3</sup>	2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	4	0.999	0.001	0.304	0.283	0.001

<sup>1</sup>MS = Materia seca; N = Nitrógeno; FND = Fibra detergente neutro; LDA = lignina detergente ácido; Ca = calcio.

<sup>2</sup>SEM = error estándar de la media

<sup>3</sup>Probabilidad de significancia de los contrastes ortogonales. Los efectos evaluados fueron 1) CTRL vs. EXTR; 2) CTRL vs. QUÍMICO; 3) EXTR vs. QUÍMICOS; 4) Ca(OH)<sub>2</sub> vs. urea.

La comparación entre el tratamiento CTRL y QUÍMICOS (contraste ortogonal número 2) mostró que había una diferencia en las cinco fracciones químicas. A excepción de la LDA, el contenido de las otras fracciones fue mayor en las muestras de QUÍMICOS. La aplicación de  $\text{Ca(OH)}_2$  y urea al bagazo extruido redujo el contenido de MS, FDN y LDA; sin embargo, este no fue el caso para N y Ca (Tabla 1). Según el resultado del análisis de contraste ortogonal número 4, no se encontraron diferencias en el contenido promedio de MS, FDN y LDA, pero sí en N y Ca. Finalmente, el contraste entre urea y  $\text{Ca(OH)}_2$  mostró que incluir urea incrementó el contenido de N, mientras que aplicar  $\text{Ca(OH)}_2$  incrementó el contenido de Ca. Así mismo, hubo un incremento del 69,2% en el contenido de N y 76,2% en Ca en el bagazo que fueron tratados químicamente en comparación con el bagazo generado solo por extrusión, como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Composición química del bagazo de pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) extruido y sometido a diferentes tratamientos químicos.

Tratamientos (% de MS) <sup>1</sup>	Fracción química % de MS				
	MS <sup>2</sup>	N	FDN	LDA	Ca
EXTR0.45Ca	79.9	1.15d	78.7a	5.60b	1.42c
EXTR0.90Ca	80.0	1.15d	77.5a	6.50a	2.10b
EXTR1.35Ca	80.0	1.38d	74.8b	5.92b	2.77a
EXTR0.45U	79.9	1.88c	80.2a	6.23a	0.28d
EXTR0.90U	80.2	2.52b	75.8b	6.13b	0.26d
EXTR1.35U	80.5	2.80a <sup>3</sup>	76.7b	6.32a	0.27d
SEM <sup>4</sup>	2.49	0.02	1.83	0.12	0.04
P <sup>5</sup>	0.907	0.001	0.001	0.002	0.001

<sup>1</sup>EXTR0.45Ca = bagazo de pasto tratado con 0.45% de  $\text{Ca(OH)}_2$ ; EXTR0.90Ca = bagazo de pasto tratado con 0.90% de  $\text{Ca(OH)}_2$ ; EXTR1.35Ca = bagazo de pasto tratado con 1.35% de  $\text{Ca(OH)}_2$ ; EXTR0.45U = bagazo de pasto tratado con 0.45% de urea; EXTR0.90U = bagazo de pasto tratado con 0.90% de urea; EXTR1.35U = bagazo de pasto tratado con 1.35% de urea

<sup>2</sup>DM = Materia Seca; N = Nitrógeno; FND = Fibra detergente neutro; LDA = lignina detergente ácido; Ca = calcio

<sup>3</sup>Medias dentro de una columna con letras similares no son diferentes según la prueba LSMEANS

<sup>4</sup>SEM = Error estándar de la media

<sup>5</sup>Probabilidad de significancia

De las fracciones químicas analizadas, la MS fue la única que no presentó diferencia asociada a los tratamientos. El análisis independiente de cada fracción química muestra que el contenido de N aumenta a medida que aumenta el nivel de urea incorporada, pero no hubo diferencia con la adición de  $\text{Ca(OH)}_2$ . El contenido de Ca

aumentó con el incremento de  $\text{Ca(OH)}_2$ , pero no hubo diferencia entre muestras después de agregar urea.

No obstante que el análisis de contrastes ortogonales no mostró diferencias entre los tratamientos con urea y  $\text{Ca(OH)}_2$  en cuanto al contenido de FDN y LDA (Tabla 1), el análisis del diseño anidado mediante el cual se evaluaron los tratamientos químicos muestra diferencias en estas fracciones químicas. Así, el nivel de FDN fue más bajo, y no diferente, en los tratamientos con la concentración más alta de  $\text{Ca(OH)}_2$  y con la concentración media y alta de urea; a su vez los mayores contenidos, aunque no diferentes, se dieron con el menor nivel de aplicación de urea y con los dos primeros niveles de  $\text{Ca(OH)}_2$ . El contenido de LDA fue más bajo con los tratamientos con menor y mayor nivel de aplicación de  $\text{Ca(OH)}_2$  y con los tratamientos de media y alta aplicación de urea.

La Tabla 2 también muestra que el contenido de N aumentó linealmente con la aplicación de urea ( $y = 1.19 + 1.29X$ ;  $r^2 = 0.92$ ;  $p < 0.001$ ) pero no hubo incidencia de  $\text{Ca(OH)}_2$ . El contenido de N pasó de 1.07% en el bagazo crudo (EXTR) (Tabla 1) al 2.80% en el bagazo tratado con urea al 1.35%, esto es 2.6 veces mayor. Dado que el tratamiento con urea redujo el contenido de FDN (Tabla 2), se aumenta el contenido de los demás componentes, incluido el N, por lo que su concentración se vio exacerbada con el N aportado por la urea. A diferencia de la urea, la aplicación del  $\text{Ca(OH)}_2$  no se traduce en cambios en el contenido de N. La aplicación de la urea no produjo efecto en el contenido de Ca de las muestras; la situación fue diferente con la aplicación del  $\text{Ca(OH)}_2$  ya que la concentración de Ca aumentó de manera lineal con el incremento en la aplicación del  $\text{Ca(OH)}_2$  a tal punto que con el tratamiento de 1.35% de  $\text{Ca(OH)}_2$  este incremento fue 9.9 veces mayor que en el bagazo crudo, al pasar de 0.28 (EXTR) a 2.77% (Tabla 1) ( $y = 0.42 + 1.81x$ ;  $r^2 = 0.93$ ;  $p < 0.001$ ). De nuevo, al igual que con la urea, se presentó disminución en el contenido de FDN debido al efecto deslignificante de este hidróxido, lo cual generó la recomposición de los demás componentes químicos del bagazo y el incremento del contenido de Ca.

El bagazo obtenido por extrusión (EXTR) presentó mayor contenido de FDN que el pasto del tratamiento CTRL sin que hubiera diferencia en la LDA (Tabla 1). Los resultados de la Tabla 3 muestran que no hubo diferencia en la DIVMS; sin embargo, la DIVFDN aumentó en 33.0%.

**Tabla 3.** Digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) y de la fibra detergente neutra (DIVFDN) de pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) crudo, del bagazo obtenido por extrusión y del bagazo extruido sometido a tratamiento químico.

Tratamiento	DIVMS	DIVFDN
CTRL	42.9	30.3
EXTR	42.8	40.3
QUÍMICO	48.8	43.4
Ca(OH) <sub>2</sub>	50.7	44.9
UREA	46.9	41.9
SEM <sup>1</sup>	4.55	5.63
	1	0.949
	2	0.001
Contrastes ortogonales <sup>2</sup>	3	0.001
	4	0.001

<sup>1</sup>SEM = error estándar de la media

<sup>2</sup>Probabilidad de significancia de los contrastes ortogonales. Los efectos evaluados fueron 1) CTRL vs. EXTR; 2) CTRL vs. QUÍMICOS; 3) EXTR vs. QUÍMICOS; 4) Ca(OH)<sub>2</sub> vs. urea.

La extrusión tuvo un efecto parcial en la digestibilidad *in vitro* al afectar solo la DIVFDN, pero los tratamientos químicos aumentaron tanto la DIVMS como la DIVFDN en comparación con los tratamientos CTRL y EXTR. En conjunto los tratamientos químicos generaron un incremento promedio del 13.8% en la DIVMS frente al pasto crudo (CTRL) y del 14.0% comparado con el EXTR. Con respecto a la DIVFDN este incremento fue de 43.2% y 7.4%. La comparación de los dos compuestos alcalinizantes mostró que el efecto del Ca(OH)<sub>2</sub> fue superior al de la urea en 8.1% y 7.2% para la DIVMS y la DIVFDN, respectivamente.

Al comparar los tratamientos químicos se estableció que la adición de 1.35% de Ca(OH)<sub>2</sub> incrementó la DIVMS y la DIVFDN en 24.3 y 54.1%, respectivamente, frente a las del CTRL. El tratamiento con 0.9% de urea generó un incremento en la DIVFDN estadísticamente similar a la del tratamiento con 1.35% de Ca(OH)<sub>2</sub> pero, a diferencia de este, el incremento en la DIVMS fue tan solo del 14.7%.

**Table 4.** Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la fibra en detergente neutro (DIVFDN) del bagazo producto de la extrusión del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) sometido a deslignificación con tres niveles de hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) y de urea (UREA).

Tratamiento (Valores en % de MS)	IVDDM	IVDNDF
EXTR0.45Ca <sup>1</sup>	47.9b	42.8b
EXTR0.90Ca	51.0b	45.3a
EXTR0.135Ca	53.3a	46.7a
EXTR0.45U	45.2b	41.3b
EXTR0.90U	49.2b	43.4ab
EXTR0.135U	46.5b	41.0b
SEM <sup>2</sup>	5.43	6.66
P <sup>3</sup>	0.001	0.004

<sup>1</sup>EXTR0.45Ca = bagazo de pasto tratado con 0.45% de Ca(OH)<sub>2</sub>; EXTR0.90Ca = bagazo de pasto tratado con 0.90% de Ca(OH)<sub>2</sub>; EXTR1.35Ca = bagazo de pasto tratado con 1.35% de Ca(OH)<sub>2</sub>; EXTR0.45U = bagazo de pasto tratado con 0.45% de urea; EXTR0.90U = bagazo de pasto tratado con 0.90% de urea; EXTR1.35U = bagazo de pasto tratado con 1.35% de urea

<sup>2</sup>SEM = Error estándar de la media

<sup>3</sup>Probabilidad de significancia

## DISCUSIÓN

El alto contenido de FDN y LDA pero bajo contenido de N en el CTRL es típico de esta gramínea en la etapa de rebrote en la que fue cosechada (1,25,26). Jaimes et al (15) reportaron un aumento en el contenido de FDN en el bagazo de pasto maralfalfa obtenido por extrusión con una reducción significativa en el contenido de LDA. El incremento en la FDN es consecuencia de la extracción de nutrientes del jugo del pasto y los cambios químicos en el mismo (27), lo que permite obtener un bagazo rico en paredes celulares (14,15).

La composición del bagazo tratado con químicos (Tabla 1) sería consecuencia del efecto hidrolítico que generan tanto el amoníaco de la urea (28) como el Ca(OH)<sub>2</sub> (29) sobre los enlaces éter y éster de la lignina con los carbohidratos estructurales. En general, ha sido determinado que los tratamientos alcalinos pueden degradar la lignina y varios ácidos urónicos de la hemicelulosa, lo que mejora el acceso de las enzimas hidrolíticas que atacan la celulosa y la hemicelulosa (30). El aumento en el contenido de N de la biomasa tratada, por otro lado, no solo depende del nivel de urea aplicado (31) sino del método de deslignificación utilizado (32).

Trach et al (33) reportaron la reducción en el contenido de FDN luego de la deslignificación de cáscara de arroz al aumentar la aplicación de urea (2.0 a 4.0%) y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (3.0 a 6.0). Sin embargo, la urea no tuvo efecto sobre el contenido de LDA pero esta se redujo significativamente a medida que aumentaba la concentración de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Estos resultados sugieren que el efecto de los compuestos alcalinos sobre los componentes de la pared celular depende entre otros factores del tipo de biomasa vegetal tratada y de las concentraciones de los compuestos deslignificantes utilizados. Al respecto, Behera et al (34) señalaron que el efecto de los tratamientos químicos conducentes a mejorar la disponibilidad de los carbohidratos estructurales para la hidrólisis enzimática depende de numerosos factores entre los que destacan el tipo de biomasa lignocelulósica, los parámetros del proceso como el tiempo, la temperatura y la presión, así como el tipo de compuesto deslignificante utilizado.

La aplicación de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  incrementó linealmente la concentración de Ca en el bagazo hasta 2.77% con 1.35% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Tabla 1). Sin embargo, esto no se puede considerar restrictivo para su inclusión en la alimentación de rumiantes ya que se ha reportado que altos contenidos de Ca en la dieta de vacas lactantes, puede mejorar la producción (35,36). Hasta hace poco tiempo se pensaba que la relación Ca-fósforo (P) podía afectar la absorción de Ca y P (37); sin embargo, los datos revisados recientemente por NASEM (36) sugieren que esta relación no es crítica.

La DIVFDN (Tabla 3) en el tratamiento EXTR comparado con CTRL es 24.5% superior al presentado por Jaimes et al (15) obtenido en pasto maralfalfa procesado en una extrusora con salida de 1.0 mm, pero inferior al 36.2% al hallado por Jaimes et al (14) en pasto kikuyo extruido con un extrusor con salida de 1.0 mm. El efecto positivo de la extrusión sobre la DIVFDN también fue reportado por Elgemark (38) quien lo explicó a partir de los efectos combinados de la temperatura, la presión y la fuerza de cizalla que genera la extrusión sobre la estructura física y química de la biomasa procesada. Heredia et al (39) por su parte, indicaron que la extrusión genera una modificación de la estructura cristalina de la celulosa con el consecuente incremento de su porosidad y el aumento de la susceptibilidad de la porción fibrosa de la biomasa vegetal a la degradación enzimática.

La mayor respuesta en la DIVMS y la DIVFDN debido a los tratamientos con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en comparación con los tratamientos con urea coincide con los reportados por Sirohi y Rai (40) quienes evaluaron el efecto de varios niveles de aplicación de urea y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sobre la digestibilidad *in situ* de la materia orgánica de paja de trigo y encontraron que a adiciones similares la digestibilidad fue superior en 5.2% con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Diversos autores han evaluado la incidencia de algunos tratamientos químicos sobre la digestibilidad *in vitro* de alimentos fibrosos. De la literatura identificada se registrarán algunos de estos hallazgos. Zaman y Owen (41) encontraron que el tratamiento de la paja de cebada con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 6% de la MS incrementó la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica en una proporción mayor que la obtenida con urea (27.5 vs 23.1%, respectivamente). Sirohi & Rai (40) también compararon el efecto de la urea y el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sobre la digestibilidad en la paja de trigo y encontraron que este compuesto al 4% mejoró en 31.2% la DIVMS frente al control, pero con la urea a la misma concentración este incremento fue la mitad (15.6%). En otros materiales forrajeros se han registrado incrementos superiores en la digestibilidad *in vitro* a los hallados en el presente trabajo, pero con aplicaciones en concentraciones más altas. Así, Ramírez et al (42) establecieron que en el pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) tratado con urea al 4.5% de la MS, se presentó incremento en la DIVMS y DIVFDN de 58.8 y 63.0%, respectivamente, en tanto que Lázaro et al (43) hallaron incrementos de 69.4 y 65.6% en la DIVMS y DIVFDN, respectivamente, en residuos de cosecha de caña de azúcar tratados con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 9% de la MS.

De acuerdo con los resultados que se muestran en la Tabla 2, tanto la adición de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  como la de urea disminuyeron la concentración de FDN. En cuanto a la digestibilidad *in vitro*, estos tratamientos químicos también influyeron en la DIVMS y la DIVFDN (Tabla 4) pero con tendencias diferentes. Mientras que la adición de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  aumentó la DIVMS de 0.45 y 0.9% a 1.35%, la urea no tuvo efecto sobre esta variable. En el caso de DIVFDN, el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mostró un efecto más consistente que la urea.

Los resultados de este trabajo confirman que existe la posibilidad tecnológica de mejorar

sustancialmente el potencial de los aportes de energía fermentable de los pastos tropicales cuyos contenidos de FDN y lignina son altos y limitan la producción con rumiantes. Oba y Allen (44) estimaron que el incremento en una unidad porcentual en la digestibilidad *in vitro* de la FDN, se vería reflejada en el incremento de 0.17 kg/d en el consumo de materia seca de la pradera y de 0.25 kg/d en la producción de leche. Basados en estas premisas y bajo el supuesto que la utilización como suplemento del maralfalfa extruido y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$  generaría un efecto de sustitución cercano a 1.0 al tratarse de materiales fibrosos (45), se puede estimar que el reemplazo de 1.0 kg de MS de pasto maralfalfa crudo por 1.0 kg de MS del bagazo obtenido por la extrusión del mismo pasto generaría el incremento de 0.27 L/Vaca/d en la producción de leche. Si este reemplazo se hace con 1.0 kg de MS de bagazo de pasto maralfalfa extruido y tratado con 1.35% de  $\text{Ca(OH)}_2$ , el incremento sería de 0.32 L/Vaca/d.

En conclusión, la extrusión húmeda del pasto maralfalfa, como el utilizado en este experimento, genera un bagazo con mayor contenido de FDN

y mayor DIVFDN, pero con menor contenido de PC. El tratamiento de este bagazo con  $\text{Ca(OH)}_2$  al 1.35%, incrementa aún más la DIVFDN y aumenta, así mismo, el contenido de Ca al tiempo que reduce el de FDN y LDA. El incremento en la DIVFDN en este experimento sugiere que existe una posibilidad tecnológica de incrementar el potencial de consumo y producción de leche en animales alimentados con pastos tropicales como el maralfalfa.

### Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

### Financiación

Este experimento fue financiado parcialmente con recursos del proyecto de investigación COLCIENCIAS 110180864120 titulado "Desarrollo de procesos tecnológicos de deslignificación de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) para uso industrial".

## REFERENCIAS

1. Correa HJ. Calidad nutricional del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) cosechado a dos edades de rebrote. Liv Res Rural Dev. 2006; 18:Article84 <http://www.lrrd.org/lrrd18/6/corr18084.htm>
2. Chavez M, Domine M. Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. Av Cien Ing. 2013; 4(4):15-46 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4710101>
3. Chandra RP, Bura R, Mabee W, Berlin A, Pan X, Saddler JN. Substrate pretreatment: the key of effective enzymatic hydrolysis of lignocellulosics? Adv Biochem Eng Biotechnol. 2007; 108:67-93. [https://doi.org/10.1007/10\\_2007\\_064](https://doi.org/10.1007/10_2007_064)
4. Lee M. A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. J Plant Res. 2018; 131: 641-654. <https://doi.org/10.1007/s10265-018-1024-y>
5. Raffrenato E, Fievisohn R, Cotanch KW, Grant RJ, Chase LE, Van Amburgh ME. Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on in vitro and in vivo neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages. J Dairy Sci. 2017; 100:8119-8131 <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12364>
6. de Visser H, Klop A, Van der Koelen CJ, Van Vuuren AM. Starch Supplementation of Grass Harvested at Two Stages of Maturity Prior to Ensiling: Intake, Digestion, and Degradability by Dairy Cows. J Dairy Sci. 1998; 81(8):2221-2227 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75801-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75801-1)
7. Ferraretto LF, Shave, RD. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. J Dairy Sci. 2015; 98(4):2662-75 <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9045>

8. Quang dV, Ba NX, Doyle PT, Hai DV, Lane PA, Malau-Aduli AE, Van NH, Parsons D. Effect of concentrate supplementation on nutrient digestibility and growth of Brahman crossbred cattle fed a basal diet of grass and rice straw. *J Anim Sci Tech*. 2015; 57:35 <https://doi.org/10.1186/s40781-015-0068-y>
9. Nocek JE. Bovine Acidosis: Implications on Laminitis. *J Dairy Sci*. 1997; 80:1005–1028 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76026-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76026-0)
10. Shabani E, Ceroni V. Subacute ruminal acidosis (SARA) in different groups of age and lactation in cows for milk production. *Anglist J (IJLLIS)*. 2013; 2(4):230–234 <https://www.anglisticum.org.mk/index.php/IJLLIS/article/view/1290/1789>
11. di Paola A, Rulli MC, Santini M. Human food vs. animal feed debate. A thorough analysis of environmental footprints. *Land Use Pol*. 2017; 67:652-659 <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.017>
12. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Política Nacional Para Mejorar La Competitividad Del Sector Lácteo Colombiano. Departamento Nacional de Planeación: Colombia; 2010 <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/d.angie/conpes%203675.pdf>
13. Duque A, Manzanares P, Ballesteros M. Extrusion as a pretreatment for lignocellulosic biomass: Fundamentals and applications. *Ren Energy*. 2017; 114(Part B):1427-1441 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.050>
14. Jaimes LJ, Mendoza EO, Menjivar CA, Montoya EV, Giraldo Á, Correa HJ. Extrusión húmeda del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). *Rev MVZ Córdoba*. 2021; 26(1):e1964 <https://doi.org/10.21897/rmvz.1964>
15. Jaimes LJ, Menjivar CA, Montoya EV, Mendoza EO, Correa HJ, Giraño Á, Ruíz ÁA. Hidrólisis enzimática del pasto maralfalfa (*Pennisetum sp*) sometido a extrusión húmeda. *Rev ion*. 2021; 34(1): 111-120 <https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021009>
16. Vandenbossche V, Doumeng C, Rigal L. Thermomechanical and thermo-mechano-chemical pretreatment of wheat straw using a twin-screw extruder. *Biores*. 2014; 9(1):1519-1538 <https://doi.org/10.15376/biores.9.1.1519-1538>
17. Zaman M, Owen E. The effect of calcium hydroxide and urea treatment of barley straw on chemical composition and digestibility in vitro. *Anim Feed Sci Tech*. 1995; 51:165-171 [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)00669-Z](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)00669-Z)
18. Sirohi SK, Rai SN. Synergistic Effect of Urea and Lime Treatment of Wheat Straw on Chemical Composition In Sacco and In Vitro Digestibility. *Asian-Austral J Anim Sci*. 1999; 12:1049–53 <https://doi.org/10.5713/ajas.1999.1049>
19. Wanapat M, Sundstol F, Garmo TH. A comparison of alkali treatment methods to improve the nutritive value of straw. I. Digestibility and metabolizability. *Anim Feed Sci Tech*. 1985; 12:295–309 [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(85\)90006-9](https://doi.org/10.1016/0377-8401(85)90006-9)
20. Djajanegara A, Molina BT, Doyle PT. The utilization of untreated and calcium hydroxide treated wheat straw by sheep. *Anim Feed Sci Tech*. 1985; 12:141-150 [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(85\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(85)90060-4)
21. Association of Official Analytical Chemist – AOAC. *Methods of Analysis*. 20 ed. Washington D.C. AOAC Int. 2016.
22. Van Soest P, Robertson JB, Lewis BA. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J Dairy Sci*. 1991; 74:3583–3597 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
23. Barchiesi C, Alomar D, Miranda H. Pepsin-Cellulase Digestibility of Pasture Silages: Effects of Pasture Type, Maturity Stage, and Variations in the Enzymatic Method. *Chilean J Agric Res*. 2011; 71(2):249-257 <https://doi.org/10.4067/S0718-5839201100020001>
24. *Statistical Analysis Software (SAS)*. Statistics (Version 8). CaryNC: the Institute. 1998.

25. Mendoza-Grimón V, Fernández-Vera JR, Hernández-Moreno JM, Palacios-Díaz MP. Mineral balance and absorption from soil of *Pennisetum sp* at different stages. *Int J Environ Agric Res*. 2016; 2(10):29–35. [https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/70505/2/Mineral\\_balance\\_absorption.pdf](https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/70505/2/Mineral_balance_absorption.pdf)
26. Clavero T, Razz R. Valor nutritivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en condiciones de defoliación. *Rev Fac Agron Univ Zulia*. 2009; 26(1):78-87 [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182009000100005](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182009000100005)
27. Zhan X, Wang D, Bean SR, Mo X, Sun XS, Boyle D. Ethanol production from supercritical-fluid-extrusion cooked sorghum. *Ind Crops Prod*. 2006; 23(3):304–310 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.09.001>
28. Kim TH, Kim JS, Sunwoo C, Lee YY. Pretreatment of corn stover by aqueous ammonia. *Biores Tech*. 2003; 90:39–47 [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00097-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00097-X)
29. Kim S, Holtzapple MT. Lime pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover. *Biores Tech*. 2005; 96:1994-2006 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.014>
30. Chang VS, Holtzapple M. Fundamental factors affecting biomass enzymatic reactivity. *Appl Biochem Biotechnol*. 2000; 84:5-37 <https://doi.org/10.1385/ABAB:84-86:1-9:5>
31. Ventura M, Barrios A, Morales I, Toro C, Barreto K, Noguera F. Efecto de la "amonificación seca" sobre el valor nutricional de la soca de sorgo (*Sorghum bicolor*). *Rev Cien*. 2002; 12(Supl 2):513-516 <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14915/14892>
32. Jiménez R, San Martín F, Huamán H, Ara M, Arbaiza T, Huamán A. Efectos del tamaño de partícula y tipo de amonificación-conservación sobre la digestibilidad y consumo del rastrojo de maíz en ovinos. *Rev Inv Vet Perú*. 2010; 21(1):19-25 <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v21n1/a03v21n1.pdf>
33. Trach NX, Mo M, Dan CX. Effects of treatment of rice straw with lime and/or urea on its chemical composition, in-vitro gas production and in-sacco degradation characteristics. *Liv Res Rural Dev*. 2001; 13: Article35 <http://www.lrrd.org/lrrd13/4/trac134a.htm>
34. Behera S, Arora R, Nandhagopal N, Kumar S. Importance of chemical pretreatment for bioconversion of lignocellulosic biomass. *Renew Sust Energ Rev*. 2014; 36:91–106 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.047>
35. Kincaid RL, Hillers JK, Cronrath JD. Calcium and Phosphorus Supplementation of Rations for Lactating Cows. *J Dairy Sci*. 1981; 64(5):754-758 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82644-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82644-6)
36. National Research Council (NRC). The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh ed.; National Academy Press, Washington D.C., 2001.
37. Beitz DC, Burkhardt DJ, Jacobson NL. Effects of Calcium to Phosphorus Ratio in the Diet of Dairy Cows on Incidence of Parturient Paresis. *J Dairy Sci*. 1974; 57(1):49-55 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)84830-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)84830-7)
38. Elgemark E. Intensively processed silage using Bio-extruder. Animal Science Degree, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management: Uppsala; 2019 [https://stud.epsilon.slu.se/14511/7/Elgemark\\_E\\_190405.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/14511/7/Elgemark_E_190405.pdf)
39. Heredia E, Pérez E, Montoya M, Serna SO. Effects of Extrusion Pretreatment Parameters on Sweet Sorghum Bagasse Enzymatic Hydrolysis and Its Subsequent Conversion into Bioethanol. *BioMed Res Int*. 2015; 2015:325905 <https://doi.org/10.1155/2015/325905>
40. Sirohi SK, Rai SN. Synergistic effect of lime and urea treatment of wheat straw on chemical composition, in-sacco and in-vitro digestibility. *Asian-Aust J Ani Sci*. 1999; 12:1049-1053 <https://doi.org/10.5713/ajas.1999.1049>

41. Zaman MS, Owen F. The effect of calcium hydroxide and urea treatment of barley straw on chemical composition and digestibility in-vitro. *Anim Feed Sci Tech.* 1995; 51:165-171. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)00669-Z](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)00669-Z)
42. Ramirez GR, Aguilera JC, Garcia G, Nunez AM. Effect of Urea Treatment on Chemical Composition and Digestion of *Cenchrus ciliaris* and *Cynodon dactylon* Hays and *Zea mays* Residues. *Anim Vet Adv.* 2007; 6(8):1036-1041 <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/javaa/2007/1036-1041.pdf>
43. Lázaro C, Aranda E.M, Ramos JA, Vargas LM, Hernandez O. Efecto del hidróxido de calcio y conservación en el valor nutritivo de alimentos a base de residuos de caña de azúcar. *Agro Produc.* 2018; 7:2 <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/517/397>
44. Oba M, Allen MS. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fibre from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *J Dairy Sci.* 1999; 82:589-596 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75271-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75271-9)
45. Bargo F, Muller LD, Kolver ES, Delahoy JE. 2003. Invited Review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J Dairy Sci.* 2003; 86:1-42 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)