

ARTÍCULO CIENTÍFICO

## Efecto de la sustitución de King grass (*Cenchrus purpureus*) por yuca (*Manihot esculenta crantz*) sobre la calidad nutricional del ensilaje<sup>1</sup>

Michael López-Herrera<sup>2✉</sup>, Augusto Rojas-Bourrillon<sup>2✉</sup>, Miguel Ángel Castillo-Umaña<sup>3</sup>

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar las características nutricionales y fermentativas de los ensilados de pasto King grass con sustitución por raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de rechazo. El experimento se desarrolló entre mayo y setiembre de 2018, se utilizó diseño factorial completamente al azar con 12 tratamientos, cuatro niveles de sustitución con yuca (0, 15, 30 y 45% peso/peso) y tres niveles de urea (0, 0,5 y 1% peso/peso). Cada tratamiento tuvo cinco repeticiones. Los materiales fueron cosechados y picados en Upala, Costa Rica, mientras la parte experimental se desarrolló en Montes de Oca, Costa Rica. Las mezclas se almacenaron durante sesenta días en bolsas de 5 kg. Los tratamientos sin yuca presentaron valores de pH aceptables, sin embargo los tratamientos con yuca mostraron concentraciones mayores de materia seca, carbohidratos no fibrosos y energía. Sin embargo, en todos los tratamientos donde se utilizó la yuca se redujo la concentración de los componentes de la fibra y la digestibilidad de la fibra detergente neutro y la proteína cruda. La urea permitió incrementar el contenido de proteína de los ensilados. Los materiales ensilados tienen el potencial para producir 1,6-2,3 kg leche/vaca, al consumir 5 kg material y 5,1-6,9 kg leche/vaca, al consumir 15 kg material. En conclusión, la sustitución del forraje de pasto King grass por raíz de yuca de rechazo, permitió una adecuada conservación y propicia el incremento del aporte energético de los ensilados, sin embargo se debe cuidar el contenido de proteína cruda ya que también se ve reducida al utilizar mayor cantidad de raíz, por lo que se debe considerar su uso como complemento dentro de una dieta balanceada.

**Palabras clave:** Conservación de forrajes, Energía, Alimentación, Ganado lechero.

<sup>1</sup> Este trabajo forma parte del Proyecto de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica 739-B7-128, San José, Costa Rica.

<sup>2✉</sup> Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición Animal. San José, Costa Rica. Autores para correspondencia [michael.lopez@ucr.ac.cr](mailto:michael.lopez@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0003-4301-9900>), [augusto.rojas@ucr.ac.cr](mailto:augusto.rojas@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0002-9834-2361>).

<sup>3</sup> Universidad Nacional. Escuela de Ciencias Agrarias, Campus Omar Dengo. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: [miguel.castillo.umana@una.cr](mailto:miguel.castillo.umana@una.cr)

Recibido: 12 marzo 2019

Aceptado: 07 noviembre 2019

Esta obra está bajo licencia Internacional Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## ABSTRACT

---

**Partial substitution of King grass for rejected cassava in silage mixtures.** The objective of this study was to determine the nutritional and fermentative characteristics of King grass silage with substitution by rejected cassava root (*Manihot esculenta* Crants). The experiment was carried out between May and September 2018, using a completely randomized factorial design with 12 treatments, four substitution levels with cassava (0, 15, 30 and 45% w/w) and three levels of urea (0, 0.5 and 1% w/w). Each treatment had five replicates. The materials were harvested and chopped in Upala, Costa Rica, while the experimental part was carried out in Montes de Oca, Costa Rica. The mixtures were stored for sixty days in 5 kg bags. The treatments without cassava presented acceptable pH values, however the treatments with cassava showed higher concentrations of dry matter, non-fibrous carbohydrates and energy. However, in all treatments where cassava was used, the concentration of fiber components and the digestibility of neutral detergent fiber and crude protein were reduced. Urea increased the protein content of the silages. The ensiled materials have the potential to produce 1.6-2.3 kg milk/cow, by consuming 5 kg of material and 5.1-6.9 kg of milk/cow, when consuming 15 kg of material. In conclusion, the substitution of King grass pasture forage by reject cassava root, allowed an adequate conservation and enhance energy contribution of silages, nevertheless the content of crude protein must be taken in consideration since it is also reduced while more root is used, so silage use should be considered as a supplement within a balanced diet.

**Keywords:** Forage preservation, Energy, Feeding, Dairy cattle.

## INTRODUCCIÓN

---

Los sistemas de producción de rumiantes en condiciones tropicales utilizan los pastos y otros forrajes como principal fuente de alimento (Lima-Orozco et al., 2012). Sin embargo la calidad y cantidad de esta fuente de alimento varía de acuerdo a las condiciones climáticas (Boval y Dixon, 2012; Guevara et al., 2012; Villalobos y Arce, 2013), situación que puede generar deficiencias en el consumo de materia seca o de nutrientes específicos (López-Herrera y Briceño-Arguedas, 2016), que impacta de forma negativa la productividad de los animales.

Los pastos de la especie *Cenchrus purpureus* (King grass, Gigante, Elefante, Taiwan, Napier) son recursos forrajeros perennes con alta capacidad de producción de biomasa y calidad nutricional media (Araya-Mora y Boschini-Figueroa, 2005; Chacón-Hernandez y Vargas-Rodríguez, 2010), que permiten el manejo en sistemas de corte y acarreo (Calzada-Marín et al., 2014). Lo anterior ha generalizado su uso en los sistemas de producción de rumiantes del trópico, ya sea, como fuente de alimento fresco, recién cortado o como forraje conservado mediante la técnica de ensilaje (Wijitphan et al., 2009; Lounglawan et al., 2014). Sin embargo, son materiales con bajo contenido de energía y proteína; junto a un alto contenido de fibra; que limita su uso en los sistemas de rumiantes y obliga al uso de fuentes de nitrógeno y energía complementarias (Jiménez-Ferrer et al., 2015; López-Herrera et al., 2019).

Los subproductos de yuca son utilizados en sistemas de producción lechera bovina en Costa Rica, sin embargo existe poca investigación acerca de sus características nutricionales y su capacidad para ser ensilada. (Arce et al., 2015). El uso de urea en la alimentación de rumiantes y para la elaboración de ensilados, es una práctica común en condiciones tropicales, cuando se tienen recursos forrajeros bajos en proteína cruda (Neumann et al., 2010), aunque su aporte es en forma de nitrógeno no proteico (McDonald et al., 2010), además mejora la estabilidad aeróbica de los ensilados (Borges et al., 2011). Arroyo et al. (2003) reportaron incrementos en el aporte de proteína cuando se usó urea, como aditivo de pulpa de pejibaye (*Bactris gasipaes*).

El ensilaje es una técnica para la conservación de materiales vegetales por vía húmeda, en ausencia de oxígeno, en una estructura donde suceden transformaciones químicas y físicas que definen su calidad nutricional (Hiriart, 2008). Esta técnica permite mantener la disponibilidad del componente forrajero durante la estación seca o

lluviosa, condiciones que reducen el rendimiento por hectárea de las pasturas (López-Herrera et al., 2015).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de sustituir forraje de pasto King grass (*Cenchrus purpureus*) por rechazo de raíz de yuca (*Manihot esculenta*), sobre el pH y las características nutricionales de mezclas ensiladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del experimento se utilizó el subproducto agroindustrial que se origina del rechazo de la raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) remanente de la cosecha y pasto *Cenchrus purpureus* cv King grass, cosechado a 55 días, cuya composición nutricional se describe en el Cuadro 1. Ambos materiales fueron obtenidos en una explotación comercial ubicada en Upala, Alajuela, Costa Rica, con promedio de precipitación de 2500 mm/año y una temperatura promedio de 25°C (IMN, 2017). Por otra parte, todos los análisis fueron realizados en el laboratorio de bromatología del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica.

**Cuadro 1.** Composición nutricional del rechazo de yuca y del pasto *Cenchrus purpureus* cv King grass cosechado a 55 días, utilizados para la preparación de ensilados. San José, Costa Rica. 2016.

	Rechazo de yuca	King grass
<b>MS (%)</b>	38,8	19,5
<b>PC (% MS)</b>	3,67	8,6
<b>Cenizas (% MS)</b>	4,70	14,3
<b>FDN (% MS)</b>	6,40	73,7
<b>FDA (% MS)</b>	4,68	46,3
<b>Lignina (% MS)</b>	0,70	2,7
<b>Almidón total (% MS)</b>	72,2	1,2
<b>NDT (%)</b>	81,62	51,4

MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; NDT: nutrientes digeribles totales.

El experimento se arregló como un diseño factorial completamente aleatorizado, aplicando cuatro niveles de sustitución de pasto King grass por rechazo de yuca (0, 15, 30, 45% peso/peso) y tres niveles de urea (0; 0,5 y 1,0 %). Todos los tratamientos incluyeron inóculo bacteriano (1 l/t) y melaza (5% peso/peso). Además, en cada tratamiento se utilizaron cinco repeticiones para un total de 60 bolsas, donde cada bolsa fue considerada una unidad experimental.

Todos los materiales fueron picados con una picadora eléctrica hasta obtener un tamaño de partícula entre 3-5 cm, se compactaron a mano y se extrajo el aire con una aspiradora doméstica, luego fueron sometidos a un proceso de ensilaje durante 60 días, en bolsas de polietileno para empaque al vacío con capacidad para 5 kg y con un grosor de 0,0063 mm y condiciones de ambiente controlado (temperatura de 25 °C y humedad relativa > 80%).

Posterior a 60 días, se abrieron las bolsas y se tomó la muestra que fue analizada en el laboratorio de bromatología de forrajes del CINA. A todas las muestras se le realizaron los análisis de materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas de acuerdo a la AOAC (1998), los carbohidratos no fibrosos (CNF) se estimaron según la ecuación descrita en Detmann y Valadares Filho (2010). La concentración de fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y lignina; se determinaron mediante los métodos descritos por Van Soest et al., (1991). Además, la concentración de FDN digestible y la energía en forma de TND fueron estimados con las ecuaciones descritas en Detmann et al., (2008) y la energía neta de lactancia se estimó utilizando las ecuaciones descritas en el NRC (2001). Finalmente, para la determinación de pH se realizó la medición del potencial de hidrógeno (pH) con un potenciómetro con electrodo de hidrógeno.

Se calculó el aporte (Mcal/día) de energía neta de lactación ( $EN_L$ ) de cada una de las mezclas ensiladas, con base en tres niveles de consumo de material verde fresco (MV) (5, 10 y 15 kg MV/vaca/día), dichos aportes fueron comparados con el aporte energético equivalente que haría un ensilado de maíz. Finalmente, los aportes de energía se cotejaron contra los requerimientos para la producción de leche de una vaca de 454Kg en lactancia media, cuya leche posee 3,0% de proteína verdadera y 4% de grasa. (NRC, 2001).

Para el análisis de la información, se utilizó un Análisis de Varianza de INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2018), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$y_{ijk} = \mu + Y_i + U_j + (Y \times U)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

y = es la variable de respuesta obtenida de la ecuación.

$\mu$  = es la media general

U = es el efecto i-ésimo de la urea en los tratamientos.

Y = es el efecto j-ésimo de la yuca en los tratamientos.

YxU = es el efecto ij-ésimo de la interacción entre los aditivos urea y yuca

$\varepsilon$  = Término de error, donde  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

Cuando se determinó la significancia de los efectos principales, la comparación entre medias se realizó mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

**pH.** El potencial de hidrógeno (pH) de los materiales ensilados se afectó de manera significativa por el uso de la urea y del nivel de sustitución por rechazo de yuca en la mezcla ensilada (Cuadro 2). Conforme se incrementó la cantidad de yuca de rechazo en la mezcla, así se redujo el potencial de hidrógeno de los ensilados, de manera que el promedio de los tratamientos sin yuca fue el de mayor valor (5,29), mientras que el promedio de los tratamientos con 30% de yuca de rechazo fue el que mostró menor grado de acidez (4,44). Por otra parte, el uso de urea incrementó el valor de potencial de hidrógeno final de los tratamientos ensilados, con media mayor en los tratamientos con 1% de urea (5,32).

**Cuadro 2.** Medias de materia seca (MS) antes del ensilaje y pH final de los ensilados de pasto King grass (*Cenchrus purpureus*) con yuca de rechazo, posterior a 60 días de fermentación. San José, Costa Rica. 2019.

Yuca	Urea	pH	MS (%)
0	0	4,80±0,07	21,6±0,3 <sup>a</sup>
	0,5	5,47±0,03	21,6±0,2 <sup>a</sup>
	1,0	5,59±0,02	21,7±0,2 <sup>a</sup>
10	0	4,94±0,02	22,4±0,1 <sup>b</sup>
	0,5	4,72±0,13	23,5±0,5 <sup>b</sup>
	1,0	5,33±0,09	23,9±0,6 <sup>c</sup>
20	0	4,49±0,12	26,0±0,6 <sup>e</sup>
	0,5	4,38±0,09	24,8±0,4 <sup>d</sup>
	1,0	5,26±0,07	25,8±0,5 <sup>e</sup>
30	0	4,18±0,03	25,9±0,3 <sup>e</sup>
	0,5	4,12±0,03	25,2±0,3 <sup>d</sup>
	1,0	5,03±0,05	25,5±0,7 <sup>d</sup>
<i>Valor de p</i>			
Yuca		<0,001	0,001
Urea		0,012	0,053
YxU		0,078	0,001

Letras distintas en la misma columna son diferentes ( $p < 0,05$ ).

Los valores de pH de los tratamientos con inclusión yuca de rechazo fueron menores que los valores obtenidos en ensilados de pasto elefante con diferentes tipos de aditivos (5,9 – +6,5) (Cavali et al., 2010), aunque son aceptables de acuerdo a lo indicado en Kung y Shaver, (2001). Estas diferencias se deben a que en esta investigación se reforzó el contenido de carbohidratos solubles del pasto con melaza (Yitbarek y Tamir, 2014), lo que permite el estímulo de un ambiente favorable para que las bacterias productoras de ácido láctico (BPAL), degraden los carbohidratos a ácido láctico y baje el pH en el silo (Yang et al., 2010). Sin embargo, el contenido de humedad del forraje no permite alcanzar la acidificación suficiente, de manera que el pH de ensilados altos en humedad suele ser más alto que el de materiales con menor humedad (<75%) (McDonald, 1981).

Esta incapacidad de acidificar el medio, por efecto de la humedad, favorecen el desarrollo de fermentaciones secundarias sobretodo la fermentación de los clostridios que degradan el ácido láctico (Hiriart, 2008). Sin embargo, también pueden favorecer la actividad de la amilasa, que en condiciones de acidificación normal se inactiva rápidamente durante el ensilaje, debido a la caída del pH (Neureiter, 2005). Este efecto es contrario al encontrado por López-Herrera et al., (2017) y López-Herrera et al., (2019), donde el pH se incrementó al usar más fruto de musáceas, esto debido a la resistencia del almidón (Deckardt et al., 2013), lo que podría sugerir que el almidón de la yuca es menos resistente a la degradación que el de las musáceas, que lo vuelve más disponible durante el ensilaje.

El uso de fuentes con alta concentración de nitrógeno aumenta la capacidad amortiguadora de la mezcla forrajera (Giger-Reverdin et al., 2002), de manera que son necesarios más carbohidratos solubles para disminuir el pH en el silo (Kung y Shaver, 2001) y que sea posible la apropiada conservación del material así, si no hay disponibilidad de carbohidratos solubles, el pH no disminuye lo necesario para evitar la proliferación de bacterias clostridiales en el silo, que consumen el ácido láctico y descomponen el forraje (Rooke y Hatfield, 2003).

**Materia Seca.** El contenido de MS de los tratamientos se vio afectado de manera significativa ( $p < 0,0001$ ) por la interacción entre el nivel de urea y el nivel de sustitución del forraje por yuca de rechazo (Cuadro 2). La diferencia entre el tratamiento con menor contenido de materia seca y el de mayor contenido de materia seca fue de 4,4 puntos porcentuales a favor de los tratamientos con mayor nivel de sustitución del forraje, ya que el rechazo de yuca posee mayor contenido de materia seca que el forraje de King grass (Cuadro 1).

Este efecto es similar al determinado por López-Herrera et al., (2017) quienes determinaron un incremento en la materia seca de los ensilados por usar más plátano Pelipita, sin embargo un incremento en el valor de materia seca no siempre es indicados de mejora en la calidad nutricional, sino que más que un aumento en la cantidad de nutrimentos, debe haber una mejora en el aprovechamiento que puede tener el rumiante de esos nutrimentos (McDonald et al., 2010). El contenido de MS en todos los tratamientos fue mayor que el obtenido por Cubero et al. (2010) (14,63 – 15,71%), también con ensilados de maíz, aunque similares a los resultados obtenidos por Maza et al. (2011) (19,0 – 24,0%) en ensilados de pasto *Pennisetum* sp. con yuca

fresca. Aunque, estas variantes son determinadas por la especie forrajera y las diferencias climáticas al momento de elaboración de los ensilados (Sanchez y Soto, 1998; López-Herrera y Briceño-Arguedas, 2016), lo que reafirma la necesidad de conocer el contenido de materia seca de los forrajes que se va a utilizar y conservar.

**Proteína Cruda.** El contenido de proteína cruda de los ensilados es influenciado por el nivel de sustitución de forraje por yuca de rechazo y el uso de urea en la mezcla ensilada (Cuadro 3). Donde la raíz de yuca reduce el contenido de proteína cruda, debido a su menor concentración (Cuadro 1), mientras que la urea tiende a incrementar la concentración de esta fracción. De esta forma, la media de los tratamientos elaborados sin yuca fue mayor (8,15% MS) a la media de los tratamientos en los que se utilizó yuca en 20% y 30% de sustitución, sin diferencias significativas entre ellos (6,58 y 6,06% MS, respectivamente). Por otra parte, el promedio de los tratamientos sin uso de urea fue menor (6,26% MS) en comparación con el promedio de los tratamientos en los que se utilizó 1% de urea (7,95% MS).

Las concentraciones de proteína cruda obtenidas en esta investigación sugieren que estas mezclas deben ser utilizadas como complemento de una dieta balanceada, esto debido a que su concentración está en el límite crítico (6–8% MS) definido en Casamiglia et al., (2010) como mínimo requerido para el adecuado funcionamiento del rumen, producción de proteína microbial y degradabilidad de la fibra (Detmann et al., 2009). Además, se debe considerar que el uso de raíces puede suponer un incremento en la concentración de proteínas ligadas a la fibra (López-Herrera et al., 2014), esto implica que al utilizar la yuca se reduce no solo la cantidad sino la calidad de la fibra.

**Cuadro 3.** Concentraciones promedio de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas y carbohidratos no fibrosos (CNF) de los ensilados de pasto King grass (*Cenchrus purpureus*) con yuca de rechazo, posterior a 60 días de fermentación. San José, Costa Rica. 2019.

Yuca	Urea	PC (% MS)	EE (% MS)	Cenizas (% MS)	CNF (% MS)	Almidón (% MS)
0	0	7,1±0,4 <sup>c</sup>	2,4±0,4	17,3±0,8 <sup>e</sup>	3,3±0,7 <sup>a</sup>	2,63±0,5 <sup>a</sup>
	0,5	7,7±0,4 <sup>c</sup>	1,8±0,2	16,9±0,8 <sup>e</sup>	3,4±1,5 <sup>a</sup>	2,65±0,3 <sup>a</sup>
	1,0	9,6±0,3 <sup>d</sup>	2,0±0,3	16,2±0,6 <sup>d</sup>	3,2±0,7 <sup>a</sup>	2,62±0,5 <sup>a</sup>
10	0	6,6±0,2 <sup>b</sup>	2,6±0,4	14,5±0,5 <sup>c</sup>	14,7±2,7 <sup>b</sup>	11,8±0,5 <sup>b</sup>
	0,5	7,5±0,6 <sup>c</sup>	2,2±0,6	15,2±0,3 <sup>c</sup>	12,3±3,6 <sup>b</sup>	11,4±0,7 <sup>b</sup>
	1,0	7,9±0,7 <sup>c</sup>	1,9±0,2	13,3±0,3 <sup>b</sup>	14,4±3,6 <sup>b</sup>	12,5±0,7 <sup>b</sup>
20	0	6,1±0,3 <sup>b</sup>	1,7±0,1	12,2±0,5 <sup>a</sup>	27,9±4,4 <sup>c</sup>	22,8±0,5 <sup>c</sup>
	0,5	6,2±0,2 <sup>b</sup>	1,8±0,1	12,4±0,5 <sup>a</sup>	27,5±3,5 <sup>c</sup>	23,2±0,5 <sup>b</sup>
	1,0	7,4±1,5 <sup>c</sup>	1,9±0,2	11,9±0,4 <sup>a</sup>	24,2±1,9 <sup>c</sup>	22,9±0,4 <sup>b</sup>
30	0	5,2±0,1 <sup>a</sup>	1,7±0,2	11,4±0,5 <sup>a</sup>	39,7±3,4 <sup>d</sup>	34,4±0,8 <sup>c</sup>
	0,5	6,0±0,4 <sup>b</sup>	1,7±0,2	11,8±0,4 <sup>a</sup>	41,4±4,3 <sup>d</sup>	33,5±1,6 <sup>c</sup>
	1,0	7,0±0,7 <sup>c</sup>	1,8±0,2	11,5±0,7 <sup>a</sup>	41,8±4,5 <sup>d</sup>	33,1±1,5 <sup>c</sup>
<i>Valor de p</i>						
Yuca		0,001	0,002	0,005	0,001	0,001
Urea		0,001	0,082	0,001	0,897	0,063
YxU		0,179	0,045	0,112	0,560	0,001

Letras distintas en la misma columna son diferentes ( $p < 0,05$ ).

Por otra parte, si bien el uso de urea incrementa la concentración de proteína cruda, este aporte lo hace en forma de nitrógeno no proteico (McDonald et al., 2010), de manera que se deben balancear las dietas considerando fuentes de proteína verdadera y de sobrepaso. Los valores obtenidos en esta investigación se encuentran en el rango de proteína encontrado en ensilados de pasto *Pennisetum* sp. con melaza a diferentes edades de corte (4,93–7,10% MS) (Aganga et al., 2005), pero son

mayores a los reportados por Bureenok et al., (2012) con ensilados de pasto elefante y harina de yuca.

**Extracto Etéreo.** No fue posible determinar diferencias significativas en la concentración de extracto etéreo de las mezclas ensiladas por efecto de la urea, pero sí por efecto del nivel de sustitución por yuca de rechazo, donde se detectó una disminución en la concentración de esta fracción conforme aumenta la cantidad de raíz de yuca en la mezcla, así, los tratamientos con menor promedio de extracto etéreo fueron los que llevaban 30% de sustitución (1,73% MS), mientras que los de mayor concentración fueron los de 0 y 10% de sustitución, sin ser diferentes entre ellos (2,06 y 2,24% MS, respectivamente) Estas diferencias provienen del bajo contenido de esta fracción en la raíz de la yuca; 0,92 % de acuerdo con Arce et al. (2015).

Los valores obtenidos de extracto etéreo fueron menores a los obtenidos en ensilados de pasto *Pennisetum* sp. con adición de yuca (2,07 – 2,22% MS) (Maza et al., 2011), aunque similares a los datos publicados por Chacón-Hernández y Vargas-Rodríguez, (2009) (1,29–1,41% MS). Estas diferencias provienen del manejo agronómico que recibe el cultivo, la edad de cosecha y la humedad en el suelo (Rostamza et al., 2011; Lounglawan et al., 2014)

**Cenizas.** El contenido de cenizas en los ensilados presentó diferencias significativas debidas al efecto de la urea y debidas al efecto del nivel de sustitución del forraje por yuca de rechazo (Cuadro 3). De modo que, conforme se incrementa la cantidad de yuca utilizada, se reduce la concentración de cenizas en los ensilados. En promedio, los ensilados sin uso de yuca de rechazo mostraron mayor concentración (16,8% MS) de cenizas en comparación con los ensilados donde se utilizó 30% de sustitución de forraje (11,6% MS); estas diferencias son debidas al menor contenido de cenizas del rechazo de yuca en comparación con el contenido del King grass (Cuadro 1).

Los ensilados analizados poseen una concentración de cenizas mayor a 9,0% MS, que ha sido indicada como esperada en forrajes de pastos y leguminosas; esto puede ser debido a contaminación con suelo (Hoffman, 2005), sobre todo considerando que el rechazo de yuca utilizado son principalmente raíces y que estas están cubiertas de suelo al momento en que son cosechadas. Los datos obtenidos de esta fracción son mayores a los obtenidos en diversos estudios (5,61-5,81% MS) (Cubero et al., 2010) y (3,2-4,3% MS) (Jensen et al., 2005), ambos con ensilados de maíz, aunque menores a los obtenidos en diferentes cultivares de pasto *Pennisetum purpurem* (15,1-21,4% MS) (Araya-Mora y Boschini-Figueroa, 2005), en material fresco; diferencias provocadas

por la edad de cosecha (Lounglawan et al., 2014), o a procesos adicionales aplicados al forraje, como el secado (López-Herrera et al., 2014).

**Carbohidratos No Fibrosos.** La concentración de CNF fue influenciada por el nivel de sustitución del forraje por raíz de yuca de rechazo (Cuadro 3). No se determinó efecto de la urea, ya que se excluyó su aporte del cálculo de los carbohidratos no fibrosos, esto debido a que no es fuente de proteína verdadera, sino de nitrógeno no proteico, por lo tanto su contribución no contabiliza en la ecuación de estimación (Detmann y Valadares-Filho, 2010). En cuanto al nivel de sustitución por yuca de rechazo, se determinó que conforme aumenta la cantidad de yuca utilizada, así también aumentan los carbohidratos no fibrosos. De manera que, la media de los tratamientos con 30% de sustitución fue mayor (40,9% MS) que la media de los tratamientos sin uso de yuca de rechazo (3,3% MS). Este mismo comportamiento pudo ser determinado cuando se analizó la concentración de almidón total (33,6% y 2,63% MS de almidón total, respectivamente).

La concentración de carbohidratos no fibrosos de los ensilados con uso de rechazo de yuca fue mayor que la obtenida por Cubero et al., (2010) con ensilados de maíz y por Castillo et al., (2009) con ensilados de mezclas Maíz y Vigna. Además, el tratamiento con 45% de sustitución tuvo una concentración promedio mayor (33,6% MS), comparable a los ensilados de maíz con 41% MS y de híbridos brown midrib del trabajo de Der Bedrosian et al., (2012). Los pastos *Cenchrus purpureus*, son pastos con bajas concentraciones de carbohidratos no fibrosos (Bureenok et al., 2012; Manyawu et al., 2003), lo que obliga al uso de aditivos altos en carbohidratos solubles para asegurar su adecuada conservación (Yang et al., 2006; Yitbarek y Tamir, 2014). Las mezclas obtenidas con yuca de rechazo, poseen un contenido energético muy favorable para ser aprovechado por los rumiantes, sobre todo porque el almidón contenido en ellas puede ser transformado en propionato a nivel de rumen y de esta manera aumentar la cantidad de leche diaria (Owens y Basalan, 2016), sin embargo, el uso de estos materiales debe estar balanceado para evitar el desarrollo de acidosis ruminal (Zebeli et al., 2010).

**Componentes de la pared celular.** Todos los componentes de la pared celular presentaron diferencias significativas (Cuadro 4), debidas al nivel de sustitución del forraje por yuca de rechazo; mientras que la inclusión de urea no generó diferencias. De esta manera, la media de fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido y

lignina de los tratamientos disminuyeron conforme se incrementó la cantidad de yuca utilizada en la mezcla ensilada. Estos componentes de la fibra se redujeron a una tasa de 10,1; 5,7 y 0,44 puntos porcentuales por cada incremento de 10% en la cantidad de yuca de rechazo, respectivamente. Esta disminución en la concentración de los componentes de la fibra en los ensilados, obedece a un incremento en la cantidad de un material como la yuca, que posee bajos contenidos de estas fracciones (Cuadro 1).

La reducción en la cantidad de fibra en detergente neutro de los ensilados favorece la productividad de los animales ya que se permite un incremento en el consumo voluntario (Harper y McNeill, 2015), ya que no se provoca distención del rumen por ingreso de un material voluminoso que estimula el llenado físico del animal (Sousa, 2017). Asimismo, la reducción en la concentración de fibra en detergente ácido supone una mejora en la digestibilidad de la materia seca de los ensilados, ya que esta fracción involucra la celulosa, la lignina y sílice, compuestos que se han relacionado con la baja digestibilidad de la materia seca en alimentos para animales (Ramírez-Orduña et al., 2002). Las diferencias obtenidas con otras investigaciones se deben a edades de cosecha principalmente, ya que este factor afecta significativamente el contenido de los componentes de la pared celular (López-Herrera y Briceño-Arguedas, 2016) y la cantidad de yuca utilizada en la mezcla (Bureenok et al., 2012).

El uso de estos ensilados podría generar problemas de consumo de fibra físicamente efectiva, ya que se sustituye la fibra del pasto por una fibra de menor calidad como la de la raíz de la yuca, además la raíz posee un mayor contenido de almidón, situación que podría disminuir los sólidos lácteos y suponer riesgo de acidosis ruminal (Izumi et al., 2018). Debido a lo anterior, los ensilados obtenidos no pueden ser utilizados como única fuente de forraje, por lo que deben ser utilizados como un complemento energético de animales en pastoreo con una dieta balanceada.

La lignina es un compuesto que forma parte de la fibra y que se ha relacionado con la disponibilidad de los otros componentes de la pared celular (Moore y Jung 2001). Varios autores señalan que la relación que existe entre la cantidad de fibra y lignina define el aprovechamiento que hacen los rumiantes de la fibra que consumen (Van Soest et al., 2005; Detmann et al., 2008; Sampaio et al., 2008).

El contenido de fibra en detergente neutro digestible se ve afectado por la concentración de lignina, en este sentido se determinó una correlación ( $\rho= 0,60$ ;  $p<0,001$ ) entre estas variables. De esta manera, la cantidad de fibra que puede ser aprovechada por el rumiante se reduce conforme aumenta la cantidad de rechazo de

yuca utilizado. Donde, el promedio de los tratamientos sin yuca mostraron una concentración de fibra digestible mayor (78,4% FDN) en comparación con el promedio de los tratamientos con 30% de sustitución (73,3% FDN). Esto debido a que tanto la concentración de fibra en detergente neutro, como la lignina se reducen al aumentar la cantidad de yuca en los ensilados.

**Cuadro 4.** Concentraciones promedio de los componentes de la pared celular y energía de los ensilados de pasto King grass (*Cenchrus purpureus*) con yuca de rechazo, posterior a 60 días de fermentación. San José, Costa Rica. 2019.

Yuca	Urea	FDN (%MS)	FDA (% MS)	Lignina (% MS)	TND (%)	EN <sub>L</sub> (Mcal/kgMS)
0	0	69,9±0,3 <sup>d</sup>	43,9±0,7 <sup>c</sup>	4,9±0,4 <sup>b</sup>	52,7±0,8 <sup>a</sup>	1,17±0,02 <sup>a</sup>
	0,5	70,2±0,7 <sup>d</sup>	44,0±0,7 <sup>c</sup>	4,8±0,6 <sup>b</sup>	52,2±0,8 <sup>a</sup>	1,16±0,02 <sup>a</sup>
	1,0	69,0±0,4 <sup>d</sup>	43,4±0,6 <sup>c</sup>	3,9±1,1 <sup>a</sup>	53,7±1,4 <sup>a</sup>	1,20±0,03 <sup>a</sup>
10	0	61,6±2,8 <sup>c</sup>	39,4±2,6 <sup>c</sup>	4,6±0,5 <sup>b</sup>	55,5±1,0 <sup>b</sup>	1,24±0,03 <sup>b</sup>
	0,5	62,8±3,7 <sup>c</sup>	39,8±2,3 <sup>c</sup>	4,6±0,4 <sup>b</sup>	53,9±1,6 <sup>a</sup>	1,20±0,04 <sup>a</sup>
	1,0	62,4±4,2 <sup>c</sup>	39,7±3,5 <sup>c</sup>	5,0±0,6 <sup>b</sup>	55,3±1,7 <sup>b</sup>	1,23±0,04 <sup>b</sup>
20	0	51,9±4,0 <sup>b</sup>	33,2±3,1 <sup>b</sup>	4,3±0,5 <sup>a</sup>	59,8±1,6 <sup>c</sup>	1,35±0,04 <sup>c</sup>
	0,5	51,9±3,9 <sup>b</sup>	32,9±2,7 <sup>b</sup>	3,9±0,4 <sup>a</sup>	59,9±0,8 <sup>c</sup>	1,35±0,02 <sup>c</sup>
	1,0	54,5±2,9 <sup>b</sup>	35,5±2,4 <sup>b</sup>	4,7±0,3 <sup>b</sup>	59,2±0,8 <sup>c</sup>	1,33±0,02 <sup>c</sup>
30	0	41,7±3,3 <sup>a</sup>	27,2±2,2 <sup>a</sup>	3,7±0,1 <sup>a</sup>	63,9±1,4 <sup>d</sup>	1,45±0,04 <sup>d</sup>
	0,5	39,2±3,8 <sup>a</sup>	28,1±7,3 <sup>a</sup>	3,3±0,4 <sup>a</sup>	64,4±1,8 <sup>d</sup>	1,46±0,04 <sup>d</sup>
	1	38,0±5,3 <sup>a</sup>	24,8±3,7 <sup>a</sup>	3,3±0,5 <sup>a</sup>	65,0±1,8 <sup>d</sup>	1,47±0,05 <sup>d</sup>
<i>Valor de p</i>						
Yuca		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Urea		0,953	0,945	0,549	0,358	0,358
YxU		0,597	0,699	0,112	0,517	0,516

Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa (HEM), lignina (LIG), Proteína insoluble en detergente neutro (PIDN), Proteína insoluble en detergente ácido (PIDA). Letras distintas en la misma columna son diferentes ( $p < 0,05$ ).

Los valores estimados de fibra detergente neutro digestible (dFDN) de los tratamientos oscilaron entre 73,3 – 78,4 % FDN, siendo los tratamientos sin yuca los que presentaron mayor concentración de dFDN y con una reducción promedio de 1,7 puntos porcentuales en la concentración de dFDN por cada incremento de 10% en la cantidad de yuca en la mezcla. Los valores obtenidos son coincidentes con lo reportado por Detmann et al. (2004) quienes indican que los valores promedio de fibra en detergente neutro digestible, de varios géneros de pastos tropicales oscilan entre 55–85% FDN.

De acuerdo a Combs (2014) la digestibilidad de la fibra puede afectar el consumo de materia seca y la productividad de los animales, ya que la digestibilidad de la fibra tiene mayor impacto en la producción comparada con la digestibilidad de cualquier otro nutrimento. A pesar de los anterior, se deben considerar otros factores como: la composición de la dieta diaria y el ambiente ruminal cuando se analiza la digestibilidad de la fibra (Krizsan y Huhtanen, 2013).

**Energía.** El contenido de energía de los ensilados fue influenciado por el efecto del nivel de sustitución del forraje por rechazo de yuca (Cuadro 4). De modo que, los tratamientos con 30% de sustitución mostraron un promedio de energía mayor (64,5% TND; 1,46 Mcal EN<sub>L</sub>/kg MS), en comparación con los tratamientos en los que no se utilizó rechazo de yuca (52,8% TND; 1,18 Mcal EN<sub>L</sub>/kg MS).

Este incremento en el contenido de energía de los ensilados proviene del contenido de nutrimentos digestibles presentes en la raíz de yuca, principalmente el almidón (Cuadro 1) y sucede en proporción de 3,9 puntos porcentuales de TND y 0,11 Mcal EN<sub>L</sub> por cada incremento de 10% en la cantidad de yuca que sustituye al pasto en la mezcla ensilada. De esta manera, aunque la fibra de la mezcla ensilada pierde calidad al agregar rechazo de yuca, también se incrementa el contenido de carbohidratos no fibrosos, los cuales incrementan la digestibilidad del material forrajero y aumentan la cantidad de energía que puede ser aprovechada por el animal (McDonald et al., 2010).

El contenido de energía de los ensilados valorados fue similar que los valores obtenidos por Cubero et al., (2010) y Betancourt (2004) con ensilados de maíz, además fueron similares a los valores obtenidos por López-Herrera et al., (2017) con ensilados de pasto Camerún con plátano Pelipita, por lo que las mezclas se pueden considerar apropiadas para ser utilizadas como complemento energético en las dietas de animales rumiantes en pastoreo (López-Herrera et al., 2019).

Cuando se utilizó el requerimiento energético para producir un kilogramo de leche (NRC, 2001) con un nivel de consumo de 5kg MV/vaca/día, los materiales ensilados evaluados mostraron un potencial de producción de 1,6 – 2,3 kg de leche/vaca/día, mientras que a consumos de 15kg MV/vaca/día, tuvieron un potencial para producir 5,1 – 6,9 kg de leche/vaca/día. Valores comparables a los publicados por López-Herrera et al., (2017) con ensilados de pasto Camerún con plátano Pelipita.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

---

En conclusión, la sustitución del forraje de pasto King grass por raíz de yuca de rechazo, permitió una adecuada conservación de los recursos forrajeros, aunque se debe incrementar la cantidad de materia seca de los forrajes a ensilar. Además se pudo reducir la cantidad de fibra y aumentar los carbohidratos no fibrosos; lo que propicia el incremento del aporte energético de los ensilados. Sin embargo se debe cuidar el contenido de proteína cruda ya que también se ve reducida al utilizar mayor cantidad de yuca, por lo que se debe considerar su uso como complemento dentro de una dieta balanceada, aunque se debe realizar investigación en cuanto al comportamiento ruminal de estos materiales y su impacto sobre la productividad de rumiantes.

## LITERATURA CITADA

---

- Aganga, A.A., U.J. Omphile, T. Thema, J.C. Baitshotlhi. 2005. Chemical composition of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) at different stages of growth and Napier grass silages with additives. *Journal of Biological Sciences*. 5(4):493-496
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1998. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16<sup>th</sup> ed, 4<sup>th</sup> rev. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Araya-Mora, M., y C. Boschini-Figueroa. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 16(1):37–43.
- Arce, J., A. Rojas-Bourrillon, M. Poore. 2015. Efecto de la adición de pollinaza sobre las características nutricionales y fermentativas del ensilado de subproductos agroindustriales de yuca (*Manihot esculenta*). *Agronomía Costarricense* 39(1):131-140
- Arroyo, C., A. Rojas-Bourrillon, R. Rosales. 2003. Uso de urea o pollinaza como suplemento proteico para toretes consumiendo ensilaje de pulpa de pejibaye. *Agronomía Costarricense*. 27(2):69-73
- Betancourt, J.C. 2004. Caracterización nutricional y productiva de material fresco y ensilado de maní forrajero (*Arachis pintoï*) cultivado en asocio con maíz (*Zea mays*), a tres densidades de siembra. Tesis de maestría. Universidad de Costa Rica, San José, CRC.
- Borges, J.A., Y. Bastardo, E. Sandoval, M. Barrios, R. Ortega. 2011. Efecto de la adición de urea y el tipo de fermentación en la estabilidad de ensilajes de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Zootecnia Tropical*. 29(3):283-291.
- Boval, M., y R.M. Dixon. 2012. The importance of grasslands for animal production and other functions: a review on management and methodological progress in the tropics. *Animal*. 6(5):748-762
- Bureenok, S., C. Yuangklang, K. Vasupen, J.T. Schonewille, Y. Kawamoto. 2012. The effects of additives in Napier grass silages on chemical composition, feed intake, nutrient digestibility and rumen fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 25: 1248–1254.
- Calsamiglia, S., A. Ferret, C.K. Reynolds, N.B. Kristensen, A.M. Van Vuuren. 2010. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal* 4:1184-1196.
- Calzada-Marín, J.M., J.F. Enríquez-Quiroz, A. Hernández-Garay, E. Ortega-Jiménez, S. I. Mendoza-Pedroza. 2014. Análisis de crecimiento del pasto Maralfalfa

- (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 5(2):247-260.
- Castillo M., A. Rojas-Bourrillón, R. WingChing-Jones. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna (*Vigna radiata*). *Agronomía Costarricense*. 33(1):133-146
- Cavali, J., O.G. Pereira, S.D.C. Valadares-Filho, M.O. Porto, F.E.P. Fernandes, R. Garcia. 2010. Mixed sugarcane and elephant grass silages with or without bacterial inoculant. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39:462-470.
- Chacón-Hernández, P.A., C.F. Vargas-Rodríguez. 2009. Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. king grass a tres edades de rebrote. *Agronomía Mesoamericana*. 20(2):399-408.
- Church, D.C., W.G. Pond, K.R. Pond. 2003. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. Limusa Wiley, México D.F., MEX.
- Combs, D. 2014. Using In Vitro Total-Tract NDF Digestibility in Forage Evaluation. *Focus on forage*. 15(2):1-3.
- Cubero, J.F., A. Rojas-Bourrillón, R. WingChing. 2010. Uso del inóculo microbiano elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agronomía Costarricense*. 34(2):237-250.
- Deckardt, K., A. Khol-Parisini, Q. Zebeli. 2013. Peculiarities of enhancing resistant starch in ruminants using chemical methods: opportunities and challenges. *Nutrients*. 5(6):1970-1988.
- Der Bedrosian, M.C., K. E. Nestor Jr., L. Kung Jr. 2012. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *Journal of Dairy Science*. 95(9):5115-5126.
- Detmann, E., J.T. Zervoudakis, L.D. Cabral, V.R. Rocha Júnior, S.D. Valadares-Filho, A.C. Queiroz, N.J. Ponciano, A.M. Fernandes. 2004. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33:1866–1875.
- Detmann, E., M.F. Paulino, H.C. Mantovani, S.D.C. Valadares-Filho, C.B. Sampaio, M.A. de Souza, I. Lazzarini, K.S. Detmann. 2009. Parameterization of ruminal fibre degradation in low-quality tropical forage using Michaelis–Menten kinetics. *Livestock Science*. 126(1-3):136-146
- Detmann, E., y S.C. Valadares-Filho. 2010. Sobre a estimação de carboidratos não fibrosos em alimentos e dietas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 62:980-984

- Detmann, E., S.C. Valadares-Filho, D.S. Pina, L.T. Henriques, M.F. Paulino, K.A. Magalhães, P.A. Silva, M.L. Chizzotti. 2008. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 143(1-4):127-147.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, Y.C. Robledo. 2018. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, ARG. <http://www.infostat.com.ar>.
- Espitia-Pérez, P.J., Y.J. Pardo-Plaza, A.P. Montalvo-Puente. 2013. Características del análisis proximal de harinas obtenidas de frutos de plátanos variedades papocho y pelipita (*Musa* ABB Simmonds). *Acta Agronómica* 62:189-195.
- Giger-Reverdin, S., C. Duvaux-Ponter, D. Sauvant, O. Martin, I. Nunes-do-Prado, R. Müller. 2002. Intrinsic buffering capacity of feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology*. 96:83-102
- Guevara, G., R. Guevara, L. Curbelo, R. González, R. Pedraza, S. Martínez, J. Estévez. 2012. Factores fundamentales de sostenibilidad de los sistemas de producción lechera en fincas comerciales con bajos insumos. Informe proyecto CITMA. Camagüey, Cuba
- Harper, K.J., y D.M. McNeill. 2015. The role iNDF in the regulation of feed intake and the importance of its assessment in subtropical ruminant systems (the role of iNDF in the regulation of forage intake). *Agriculture* 5:778-790
- Hiriart, M. 2008. Ensilados. Procesamiento y Calidad. 2<sup>da</sup> ed. Editorial Trillas, México. 120p.
- Hoffman, P.C. 2005. Ash content of forages. *Focus on Forage* 7(1):1-2.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2017. Datos climáticos Upala. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio> (Consultado 21 Feb. 2019)
- Izumi, K., T. Tamura, R. Fujii, H. Nakatsuji, S. Morita. 2018. Effects of substituting kraft pulp with corn silage on dry matter intake, ruminal mat formation, rumen fermentation, and rumination activity in non-lactating cows. *Animal Science Journal*. 2018;00:1-9
- Jensen, C., M.R. Weisbjerg, P. Nørgaard, y T. Hvelplund, T. 2005. Effect of maize silage maturity on site of starch and NDF digestion in lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 118:279-294.
- Jiménez-Ferrer, G., G. Mendoza-Martínez, L. Soto-Pinto, A. Alayón-Gamboa, A. 2015. Evaluation of local energy sources in milk production in a tropical silvopastoral system with *Erythrina poeppigiana*. *Tropical animal health and production*. 47(5):903-908

- Krizsan, S.J., y P. Huhtanen. 2013. Effect of diet composition and incubation time on feed indigestible neutral detergent fiber concentration in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96(3): 1715-1726.
- Kung, L., y R. Shaver. 2001. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on forage* 3(13):1-5.
- Lima-Orozco, R., A. Castro-Alegría, V. Fievez. 2013. Ensiled sorghum and soybean as ruminant feed in the tropics, with emphasis on Cuba. *Grass Forage Science*. 68:20-32.
- López-Herrera, M., A. Rojas-Bourrillon, E. Briceño-Arguedas. 2019. Sustitución del pasto *Megathyrsus maximus* por guineo cuadrado y urea en mezclas ensiladas. *Agronomía Mesoamericana*. 30(1):179-194.
- López-Herrera, M., A. Rojas-Bourrillon, C. Zumbado-Ramírez. 2017. Características nutricionales y fermentativas de ensilados de pasto Camerún con plátano Pelipita. *Agronomía Mesoamericana*. 28(3):629-642.
- López-Herrera, M., E. Briceño-Arguedas. 2016. Efecto de la frecuencia de corte y la precipitación en el rendimiento de *Cratylia argentea* orgánica. *Nutrición Animal Tropical*. 10(1):24-44.
- López-Herrera, M., R. WingChing-Jones, A. Rojas-Bourrillon. 2014. Meta-análisis de los subproductos de piña (*Ananas comosus*) para la alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*. 25(2):383-392.
- López-Herrera, M., R. WingChing-Jones, A. Rojas-Bourrillon. 2016. Bromatología de ensilados de corona de piña con pulpa de cítricos, heno y urea. *Agronomía Mesoamericana*. 27(1):37-47
- Lounglawan, P., W. Lounglawan, W. Suksombat. 2014. Effect of cutting interval and cutting height on yield and chemical composition of King Napier grass (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum americanum*). *APCBEE Procedia* 8:27-31.
- Manyawu, G.J., S. Sibanda, I.C. Chakoma, C. Mutisi, P. Ndiweni. 2003. The intake and palatability of four different types of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) silage fed to sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 16:823-829
- Maza, A., G. Vergara, D. Paternina. 2011. Evaluación química y organoléptica del ensilaje de Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) más yuca fresca (*Manihot esculenta*). *Revista MVZ Córdoba*. 16:2528-2537.
- McDonald P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, L.A. Sinclair, R.G. Wilkinson. 2010. *Animal Nutrition*. Seventh edition. Pearson United Kingdom. 712p
- Moore K.J., y H.I.G. Jung. 2001. Lignin and fiber digestion. *Journal of Rangeland Management*. 54:420-430.

- Muck, R.E., I. Filya, F.E. Contreras-Govea. 2007. Inoculant effects on alfalfa silage: in vitro gas and volatile fatty acid production. *Journal of Dairy Science*. 90:5115-5125.
- Muia J.M.K., S. Tamminga, P.N. Mbugua, and J.N. Kariuki. 2000. The nutritive value of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) and its potential for milk production with or without supplementation: A review. *Tropical Science*. 40:109-131.
- Neumann, M., R. Oliboni, M.R. Oliveira, M.V. Faria, R.K. Ueno, L.L. Reinerh, T. Durman. 2010. Chemicals additive used in silages. *Applied Research in Agrotechnology*. 3(2):187-208
- Neureiter, M., J.T.P. dos Santos, C.P. Lopez, H. Pichler, R. Kirchmayr, R. Braun. 2005. Effect of silage preparation on methane yields from whole crop maize silages. In: Ahring, B.K., y H. Hartmann. editors, *Proceedings of the 4th International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste*, BioCentrum-DTU. Copenhagen, DEN. p.109-115.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7<sup>th</sup> ed. National Academy Press. WA, USA.
- Owens, F.N., y M. Basalan. 2016. *Ruminal Fermentation*. IN: Millen D.D., Arrigoni M.D.B., Pacheco R.D.L. 2016. *Rumenology*. Springer International Publishing. Switzerland. 63p.
- Ramírez-Orduña, R., R.G. Ramírez-Lozano, F. López-Gutiérrez. 2002. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. *Ciencia UANL*, 5(2):180-189
- Rooke, J.A., y R.D. Hatfield. 2003. *Biochemistry of ensiling*. ASDA-ARS publications. University of Nebraska. United States. 139p.
- Rostamza, M., M.R. Chaichi, M.R. Jahansouz, A. Alimadadi. 2011. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management*. 98(10):1607-1614
- Sampaio, C.B., E. Detmann, S.D.C. Valadares Filho, A.C.D. Queiroz, T.N.P. Valente, R.R. Silva, M.A. Souza, V.A.C. Costa. 2012. Evaluation of models for prediction of the energy value of diets for growing cattle from the chemical composition of feeds. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 41(9): 2110-2123.
- Sampaio, C.B., E. Detmann, I. Lazzarini, M.A.D. Souza, M.F. Paulino, S.D.C. Valadares-Filho. 2009. Rumen dynamics of neutral detergent fiber in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38:560-569.

- Sánchez, J.M., y H. Soto. 1998. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. II. Componentes de la pared celular. *Nutrición Animal Tropical* 4(1):7-19
- Sousa, D.O. 2017. Alteration of fiber digestibility for ruminants: effects on intake, performance, and ruminal ecosystem. Tesis doctoral. Universidad de São Paulo. Brasil. 63p
- Van-Soest, P.J., M.E. Van Amburgh, J.B. Robertson, W.F. Knaus. 2005. Validation of the 2.4 times lignin factor for ultimate extent of NDF digestion, and curve peeling rate of fermentation curves into pools. In: Cornell University, editor, Proceedings of the Cornell Nutritional Conference for Feed Manufacturers. Cornell University, Ithaca, NY, USA. p. 139-149.
- Van-Soest, P.V., J.B. Robertson, B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597
- Villalobos, L., y J. Arce. 2014. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. II. Valor Nutricional. *Agronomía Costarricense* 38(1):133-145.
- Wijitphan, S., P. Lorwilai, C. Arkaseang. 2009. Effects of cutting heights on productivity and quality of King Napier grass (*Pennisetum purpureum* cv. King Grass) under irrigation. *Pakistan Journal of Nutrition* 8:1244– 1250.
- Yang, H.Y., X.F. Wang, J.B. Liu, L.J. Gao, M. Ishii, Y. Igarashi, Z.J. Cui. 2006. Effects of water-soluble carbohydrate content on silage fermentation of wheat straw. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 101(3):232-237.
- Yitbarek, M.B., y B. Tamir. 2014. Silage additives: Review. *Open Journal of Applied Science*. 4:258-274.
- Zebeli, Q., D. Mansmann, H. Steingass, B.N. Ametaj. 2010. Balancing diets for physically effective fibre and ruminally degradable starch: A key to lower the risk of sub-acute rumen acidosis and improve productivity of dairy cattle. *Livestock Science*. 127(1):1-10.