



## Factores que afectan la calidad del ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*)<sup>1</sup>

### Factors that affect the quality of Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) silage

Yesid Avellaneda-Avellaneda<sup>2</sup>, Javier Castillo-Sierra<sup>2</sup>, Edgar A Mancipe-Muñoz<sup>2</sup>, Juan de J Vargas-Martínez<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Recepción: 8 de diciembre, 2022. Aceptación: 1 de marzo, 2023. Este trabajo formó parte de la agenda de investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.
- <sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 vía Bogotá – Mosquera, Colombia. [yavellaneda@agrosavia.co](mailto:yavellaneda@agrosavia.co) (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0003-2471-5863>), [emancipe@agrosavia.co](mailto:emancipe@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0001-9831-673X>), [jcastillos@agrosavia.co](mailto:jcastillos@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0003-0797-3908>), [jvargasm@agrosavia.co](mailto:jvargasm@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0002-7674-3850>).

## Resumen

**Introducción.** La oferta de ensilaje de pasto Kikuyo permite reducir la estacionalidad de la producción láctea, pero es necesario evaluar los factores que afectan el proceso de ensilado para mantener una calidad similar a la del forraje fresco. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la edad de rebrote, el tamaño del picado, el tiempo de oreo con el uso de aditivos sobre la calidad del ensilaje de pasto Kikuyo. **Materiales y métodos.** El estudio se realizó en Mosquera, Colombia, durante el 2020. Se evaluó el efecto de la edad de rebrote (28, 42 y 70 días), el tamaño de picado (1,5 cm, 3,0 cm y planta completa), tiempo de oreo (0 y 6 horas) y uso de aditivos (glicerina cruda y bacterias ácido lácticas (BAL)) sobre los parámetros: composición química, digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS), dinámica del pH, perfil de ácidos grasos volátiles (AGV's), pérdidas de materia seca y calidad organoléptica. La información se analizó con un diseño completamente al azar con arreglo factorial. **Resultados.** El uso de pasto Kikuyo de 70 días de rebrote redujo ( $p<0,05$ ) la proteína cruda, la digestibilidad y la energía, y aumentó la pared celular y la materia seca (MS) del ensilaje. La utilización de aditivos redujo ( $p<0,05$ ) el pH final del pasto maduro. El picado pequeño o la inclusión de glicerina cruda en la planta completa incrementaron ( $p<0,05$ ) la DISMS. El uso de aditivos redujo ( $p<0,05$ ) el pH final del ensilaje elaborado con la planta completa. El oreo previo al empaque incrementó ( $p<0,05$ ) la MS y ( $p<0,05$ ) el pH final, pero redujo ( $p<0,05$ ) la proteína cruda y el ácido láctico. **Conclusión.** El uso de forrajes tiernos, el picado pequeño y el embolsado en fresco mejoraron la calidad del ensilaje de pasto Kikuyo. El uso de forrajes maduros requiere aplicación de aditivos.

**Palabras clave:** conservación de forrajes, digestibilidad, glicerina, rebrote, secado por aire.

## Abstract

**Introduction.** The availability of Kikuyu grass silage helps reduce the seasonality of dairy production, but it is necessary to evaluate the factors affecting the ensiling process to maintain a quality similar to that of fresh forage. **Objective.** To evaluate the effect of regrowth age, chop size, wilting time with the use of additives on the quality of



Kikuyu grass silage. **Materials and methods.** The study was conducted in Mosquera, Colombia, during 2020. The effect of regrowth age (28, 42, and 70 days), chop size (1.5 cm, 3.0 cm and whole plant), wilting time (0 and 6 hours), and the use of additives (crude glycerin and lactic acid bacteria (LAB)) on parameters such as chemical composition, *in situ* dry matter digestibility (ISDMD), pH dynamics, volatile fatty acid (VFA) profile, dry matter losses, and organoleptic quality was evaluated. The data was analyzed using a completely randomized design with a factorial arrangement. **Results.** The use of 70-day regrowth Kikuyu grass reduced ( $p<0.05$ ) crude protein, digestibility, and energy, while increasing cell wall content and dry matter (DM) of the silage. Additive use reduced ( $p<0.05$ ) the final pH of mature grass. Small chop size or inclusion of crude glycerin in the whole plant increased ( $p<0.05$ ) ISDMD. Additive use reduced ( $p<0.05$ ) the final pH of silage made with the whole plant. Pre-ensiling wilting increased ( $p<0.05$ ) the DM and final pH, but reduced ( $p<0.05$ ) crude protein and lactic acid. **Conclusion.** The use of tender forage, small chop size, and fresh bagging improved the quality of Kikuyu grass silage. The use of mature forage requires the application of additives.

**Keywords:** fodder conservation, digestibility, glycerin, regrowth, air drying.

## Introducción

La ganadería colombiana presenta un incremento en los costos de producción (Federación Colombiana de Ganaderos, 2018), con la menor rentabilidad y competitividad del sector ganadero nacional (Bravo Parra, 2021). En particular, las lecherías utilizan dosis altas de suplementos externos, lo que puede conducir a escenarios de insostenibilidad económica (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2021).

El pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) es la gramínea que predomina en los sistemas ganaderos del trópico alto colombiano (Vargas Martínez et al., 2018), cuya disponibilidad está asociada a la oferta ambiental y al manejo de las praderas (Acero-Camelo et al., 2021; Avellaneda Avellaneda et al., 2020; Mejía-Taborda et al., 2014). En condiciones del trópico altoandino, el crecimiento de esta gramínea se redujo entre 37 % y 86 % en época seca (Avellaneda et al., 2020). Con relación al manejo de la pradera, la productividad del Kikuyo incrementa cuando la planta presenta entre cuatro y seis hojas vivas (Escobar Charry et al., 2020); además, el crecimiento del pasto responde de forma positiva a la fertilización nitrogenada (Acero-Camelo et al., 2020).

Como estrategia para enfrentar las épocas críticas, se ha propuesto el uso de cultivos forrajeros (Tulu et al., 2020). Al respecto, la utilización de ensilaje de forrajes ha permitido incrementar la productividad bovina (Campuzano-Duque et al., 2022) y mejorar la rentabilidad del sistema de producción (Renzaho Ntakyo et al., 2020). En países con cuatro estaciones, la utilización de ensilajes de pastos es esencial para el sostenimiento de la producción de leche en invierno (Huhtanen et al., 2013; Moloney et al., 2021). En condiciones tropicales, también se ha implementado esta tecnología para enfrentar épocas de oferta limitada de biomasa (Pratti Daniel et al., 2019; Villalobos-Villalobos et al., 2015).

El objetivo al elaborar un ensilaje es producir un alimento estable que preserve la mayor parte de la materia seca y los componentes digestibles que presenta el forraje fresco (Kung Jr. et al., 2018). El contenido de materia seca, de carbohidratos solubles y la capacidad buffer, determinan la ensilabilidad de un recurso alimenticio (Martínez-Fernández et al., 2013); así como, característica que puede variar incluso dentro de una especie (Martínez-Fernández et al., 2013) y a factores asociados a la siembra y la cosecha (Mancipe-Muñoz et al., 2022).

La baja concentración de materia seca (17,3 %) del pasto Kikuyo y el alto nivel de proteína cruda (18,3 %) (Vargas Martínez et al., 2018), dificultan la conservación vía ensilaje. Además, este forraje presenta un nivel de proteína soluble del 31,2 % y de la fracción B del 62,5 % (Correa et al., 2008), lo que limita el descenso adecuado

del pH (Boschini-Figueroa & Pineda-Cordero, 2016). Para mejorar el proceso de fermentación en la elaboración de ensilaje de pastos, se han utilizado diferentes aditivos (Li et al., 2022); tales como melazas que incrementan la cantidad de carbohidratos solubles (Luo et al., 2021) y bacterias ácido lácticas que aceleran el proceso de fermentación (Piltz et al., 2022).

El objetivo de estudio fue evaluar el efecto de la edad de rebrote, el tamaño del picado, el tiempo de oreo con el uso de aditivos sobre la calidad del ensilaje de pasto Kikuyo. Las hipótesis de este trabajo fue que forrajes inmaduros, con menor tamaño de picado y mayor tiempo de oreo, presentan una mejor calidad del ensilaje, la cual es promovida por la inclusión de aditivos.

## Materiales y métodos

### Localización y selección de lotes de pasto Kikuyo

El trabajo de campo relacionado con el manejo de los lotes de pasto Kikuyo, fue desarrollado desde agosto a octubre del 2020, en el Centro de Investigación Tibaitatá, perteneciente a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), ubicado en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, con latitud 4°35'56"N y longitud 74°04'51"O, a una altura de 2570 m s. n. m., con una temperatura media anual de 16 °C y distribución bimodal de lluvias. En este centro de investigaciones, el 95 % de las pasturas corresponden a pasto Kikuyo.

Se seleccionó un área de 1000 m<sup>2</sup> de un lote de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) de una hectárea, que formaba parte de la rotación del hato bovino de la unidad de reproducción y genética de AGROSAVIA Este lote fue uniformizado a una altura de 10 cm y en tres momentos de rebrote, con el objetivo de hacer coincidir los tiempos de corte con el momento de la elaboración de los ensilajes. El suelo presentó moderada acidez y la mayoría de los minerales se encontraban en el rango entre normal y alto, por lo que se considera un suelo sin restricciones para el crecimiento del pasto Kikuyo (Cuadro 1; Instituto Colombiano Agropecuario, 1992).

**Cuadro 1.** Composición química del suelo del lote experimental, donde fue cosechado el pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

**Table 1.** Chemical composition of the soil from experimental plot, where Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass was harvested. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

pH	MO	P	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Ca	Mg	K	Na	CIC
	%				mg/kg						cmol/kg		
5,76	8,6	49,7	21,3	868	16,8	62,3	4,7	0,57	11,7	4,5	1,8	0,22	18,2

### Tratamientos experimentales y elaboración de los silos

Los experimentos se realizaron en octubre del 2020 y el ensilaje se almacenó hasta diciembre del mismo año. Se realizaron tres experimentos en donde se incluyó glicerina (al 2 % de la biomasa verde), como fuente de energía para los microorganismos anaeróbicos, una mezcla comercial de bacterias ácido-lácticas (BAL) homo y heterofermentativas (a una dilución de 5gL<sup>-1</sup> y una dosis de 2 L t<sup>-1</sup> de biomasa verde), y un tratamiento control sin la inclusión de aditivos.

En el primer ensayo se evaluó la edad de rebrote (ER) del pasto Kikuyo, para determinar si la utilización de forrajes con menor cantidad de días de rebrote y mejor calidad nutricional favorece el proceso de ensilaje, en contraposición a la práctica (no documentada) de conservación de forrajes lignificados provenientes de potreros que no se pastorean. Para tal propósito se cosechó el pasto Kikuyo con 28, 42 y 70 días de rebrote. El forraje fue picado a un tamaño aproximado de 3 cm (Picapastos Penagos PP 300) y fue empacado después de este proceso.

En el segundo y tercer ensayo se usó pasto Kikuyo con 42 días de rebrote, que correspondió a un momento en el que las plantas presentaban entre cuatro y cinco hojas vivas, y que ha sido considerado momento óptimo de cosecha (Acero-Camelo et al., 2020), con lo cual se buscaba generar recomendaciones para aprovechar el momento de máxima calidad y producción de biomasa.

En el segundo ensayo se evaluaron tres tamaños de picado del material a ensilar 1,5 cm, 3,0 cm y la planta completa. En el tercer ensayo se comparó el ensilaje del material que se empacó después del picado, con aquel que fue sometido al secado ambiental bajo techo por 6 h (13,2 ° C y 82 % de humedad relativa al interior de la bodega). El forraje cosechado se picó en una procesadora de forraje (Picapastos Penagos PP 300) a un tamaño aproximado de 3 cm.

El forraje en cada experimento fue cosechado con guadaña a una altura de 10 cm sobre el suelo. Previo a la cosecha, se determinó la altura promedio de las plantas y se realizó un aforo de las praderas de donde se obtuvo el forraje para los ensayos, con el objetivo de determinar el rendimiento por unidad de área. Para la elaboración del ensilaje, la biomasa se cosechó, pesó en balanza digital, picó, se empacó en bolsa negra calibre 6, compactó, cerró y almacenó bajo sombra durante 60 días. En cada bolsa se depositaron 2000 g de forraje verde y se consideraron cuatro repeticiones para cada tratamiento.

## **Variables evaluadas**

La calidad del ensilaje de pasto Kikuyo se determinó en términos de composición química, perfil de ácidos grasos volátiles, nitrógeno amoniacal, dinámica del pH, calidad organoléptica y pérdidas por proceso.

### *Composición química y nutricional*

Se tomaron muestras del forraje previo al empaque y de los ensilajes al día 60 de fermentación anaerobia, para determinar el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), proteína cruda soluble (PCS), carbohidratos no estructurales (CNE), carbohidratos solubles (CS), almidón y fibra en detergente neutro y ácido (FDN y FDA), por medio de la metodología del infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés), en un equipo marca FOSS DS2500 (Ariza-Nieto et al., 2017). Además, se tomó el valor de la energía neta (ENL) de los ensilajes estimado en la plataforma Alimento®. La digestibilidad de la materia seca se midió a través de incubación *in situ* (DISMS) por el método de Ørskov y McDonald (1979), en el laboratorio de nutrición animal del Centro de Investigación de Turipaná de AGROSAVIA, ubicado en Montería, Colombia. La concentración de MS fue ajustada de acuerdo con la concentración de ácidos grasos volátiles (Elmenhorst & Parchim, 2008).

### *Ácidos grasos volátiles (AGV)*

Una muestra de 200 g de ensilaje se conservó a - 20 °C y posteriormente, se envió al laboratorio de química analítica de AGROSAVIA para determinar la concentración de AGV con base en la metodología descrita por Ewen (2011), mediante cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC), con una columna de la marca Agilent.

### *Nitrógeno amoniacal*

La determinación del contenido de N-amoniacal de los ensilajes se realizó por electrodo específico de iones. Para dicha determinación se realizó la extracción en una muestra de 10 g de ensilaje en 25 mL de KCl, la cual se dejó incubar por una hora. Luego se realizaron las mediciones con un potenciómetro (HANNA Instruments) con los estándares 10, 100 y 1000 ppm para amoníaco.

### *Dinámica de descenso del pH*

El pH fue evaluado en el material fresco y conservado a los 3, 7, 15 y 60 días, en dos bolsas por cada tratamiento (muestreo destructivo), con el electrodo de pH modelo HI1230B (Hanna Instruments). La información obtenida se ajustó al modelo *broken line* cuadrático (ecuación 1).

$$\text{pH} = A + k \times ((P - \text{día})^2) \times I, \text{ si día} > P, I = 0 \quad (1)$$

Donde A representa el valor final de pH, k la tasa instantánea de descenso del pH y P el momento al cual el pH se estabiliza.

### *Calidad organoléptica*

Las características organolépticas en el material conservado, se evaluaron al día 60 con base en la escala propuesta por Ojeda et al. (1991), así: color de 8 (pardo amarillento, café verdoso y café oscuro) a 24 (verde, verde amarillento y verde claro), olor de 18 (desagradable) a 54 (agradable) y textura de 11 (jabonoso al tacto, mal definido) a 22 (bien definido, se separa fácil).

### *Mermas de proceso*

Las pérdidas de material por gases y lixiviación durante la fermentación, fueron medidas como la diferencia entre el peso al día 60 y el peso al día 0. Las pérdidas por deterioro del material conservado se determinaron luego de retirar el material que presentaba algún tipo de daño por aerobiosis, alteración en el color y olor.

## **Análisis estadístico**

La información fue analizada a través de un diseño completo al azar con arreglo factorial, que incluyó en todos los ensayos el efecto de la aplicación o no de aditivo (A). Además, en el primer experimento se incluyó la edad de rebrote, en el segundo experimento el tamaño de picado y en el tercer experimento el oreo. Los análisis se realizaron mediante modelos lineales generalizados (GLM) en Statistical Analysis Systems (2016). Las medias de los efectos principales se evaluaron por medio de una prueba de Tukey y la interacción por medio de una prueba de medias ajustadas. Los errores experimentales de las variables evaluadas cumplieron los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad.

## Resultados

### Características agronómicas y composición química y nutricional de la biomasa del pasto Kikuyo

La altura de las plantas, el peso de la biomasa y la composición química del pasto Kikuyo según tres edades de rebrote es mostrada en el Cuadro 2. El incremento en la madurez del pasto Kikuyo aumentó el contenido de la MS y la pared celular y redujo la concentración de PC, DISMS y  $EN_L$ . La cantidad de CNS y CS fue mayor en el pasto con 42 días de rebrote.

**Cuadro 2.** Características agronómicas y composición química del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) con tres edades de rebrote. Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

**Table 2.** Agronomic characteristics and chemical composition of Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass at three regrowth stages. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

Edad de rebrote (d)	Altura planta (cm)	Aforo (g MSm <sup>-2</sup> )	MS	PC	PCS	FDN	FDA	CNE	CS	DISMS	$EN_L$ (Mcalkg <sup>-1</sup> )
			%								
28	18,1	123,7	15,9	17,0	38,3	58,6	32,4	3,4	1,26	74,5	1,29
42	24,3	204,6	18,2	15,6	36,1	59,3	32,7	5,6	2,36	66,2	1,25
42 <sup>2</sup>			22,3	15,0	33,6	60,4	35,6	4,6	0,83	65,0	1,24
70	75,1	500,7	21,4	10,4	37,5	62,6	36,8	3,7	0,28	56,7	1,14

MS: materia seca; PC: proteína cruda; PCS: proteína cruda soluble; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; CNE: carbohidratos no estructurales; CS: carbohidratos solubles; DISMS: digestibilidad *in situ* de la materia seca;  $EN_L$ : energía neta de lactancia. / MS: dry matter; PC: crude protein; PCS: soluble crude protein; FDN: fiber in neutral detergent; FDA: fiber in acid detergent; CNE: non-structural carbohydrates; CS: soluble carbohydrates; DISMS: *in situ* dry matter digestibility;  $EN_L$ : net lactation energy. Kikuyo de 42 días de rebrote con 6 h de oreo. / Kikuyu of 42 days of regrowth with 6 hours of wilting.

### Experimento 1. Efecto de la edad de rebrote y uso de aditivos sobre la calidad del ensilaje de pasto Kikuyo

Debido a que no se encontró un efecto significativo de la interacción edad de rebrote y uso de aditivos, salvo para el pH final, los resultados se presentan como las medias de los efectos principales para las diferentes variables evaluadas.

#### *Composición química y nutricional*

La edad de rebrote del pasto Kikuyo afectó significativamente todas las variables de la composición química y nutricional del ensilaje (Cuadro 3). El ensilaje de pasto Kikuyo de 70 días de rebrote presentó mayor ( $p<0,05$ ) concentración de MS y pared celular, y menores ( $p<0,05$ ) contenidos de PC, CNE, CS y DISMS. En contraposición, los contenidos de PCS, CS, DISMS y  $EN_L$  fueron mayores ( $p<0,05$ ) y la concentración de FDN fue menor ( $p<0,05$ ) en el ensilaje elaborado con pasto Kikuyo de 28 días de rebrote. La inclusión de glicerina aumentó ( $p<0,05$ ) la concentración de MS, PC y CS, contrario a la mezcla de bacterias ácido-lácticas; además, registró una mayor ( $p<0,05$ ) concentración de CS y un menor contenido de FDN ( $p<0,05$ ) respecto al control.

**Cuadro 3.** Composición química y nutricional de ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) cosechado con tres edades de rebrote y elaborado con diferentes aditivos. Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

**Table 3.** Chemical and nutritional composition of Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage harvested at three regrowth stages and prepared with different additives. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

Ítem	MS	PC	PCS	FDN	FDA	CNE	CS	DISMS	EN <sub>L</sub>
	%								
Edad rebrote (ER)									
28	21,2 <sup>c</sup>	13,9 <sup>a</sup>	41,3 <sup>a</sup>	57,7 <sup>b</sup>	30,9 <sup>c</sup>	9,5 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	73,7 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>
42	22,9 <sup>b</sup>	13,7 <sup>a</sup>	37,7 <sup>b</sup>	58,8 <sup>b</sup>	33,5 <sup>b</sup>	9,0 <sup>ab</sup>	1,7 <sup>b</sup>	65,3 <sup>b</sup>	1,22 <sup>b</sup>
70	27,9 <sup>a</sup>	10,2 <sup>b</sup>	37,2 <sup>b</sup>	61,9 <sup>a</sup>	35,1 <sup>a</sup>	7,7 <sup>b</sup>	0,8 <sup>c</sup>	56,8 <sup>c</sup>	1,15 <sup>c</sup>
Aditivo (A)									
Control	23,4 <sup>b</sup>	12,4 <sup>ab</sup>	38,0 <sup>b</sup>	60,2 <sup>a</sup>	33,6	8,0 <sup>b</sup>	1,4 <sup>b</sup>	63,5	1,19
Glicerina	24,5 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	38,0 <sup>b</sup>	58,9 <sup>b</sup>	33,1	9,4 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>	66,7	1,22
BAL	24,1 <sup>ab</sup>	12,2 <sup>b</sup>	40,2 <sup>a</sup>	59,4 <sup>ab</sup>	32,8	8,8 <sup>ab</sup>	1,4 <sup>b</sup>	65,6	1,20
EEM	0,23	0,24	0,59	0,34	0,46	0,30	0,18	0,89	0,005
Efecto									
ER	***	***	**	***	***	**	***	***	***
A	**	*	*	+	ns	**	**	+	+
ERxA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

MS: materia seca; PC: proteína cruda; PCS: proteína cruda soluble; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; CNE: carbohidratos no estructurales; CS: carbohidratos solubles; DISMS: digestibilidad in situ de la materia seca; EN<sub>L</sub>: energía neta de lactancia. / MS: dry matter; PC: crude protein; PCS: soluble crude protein; FDN: fiber in neutral detergent; FDA: fiber in acid detergent; CNE: non-structural carbohydrates; CS: soluble carbohydrates; DISMS: *in situ* dry matter digestibility; EN<sub>L</sub>: net lactation energy. BAL: bacterias ácido lácticas; EEM: error estándar de la media. / BAL: lactic acid bacteria; EEM: mean standard error.

ER: efecto de la edad de rebrote; A: efecto del aditivo; ERxA: efecto de la interacción edad de rebrote y aditivo/ ER: effect of regrowth age; A: effect of the additive; ERxA: effect of the interaction between regrowth age and additive.

<sup>a,b,c</sup>. Letras diferentes en la misma columna, para cada factor experimental, representan diferencias significativas. ns: no significativo, +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01, \*\*\*: p<0,001/ <sup>abc</sup> Different letters in the same column, for each experimental factor, represent significant differences. ns: not significant, +: p<0.1; \*: p<0.05; \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

### Perfil de ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal

El ensilaje elaborado con pasto Kikuyo de mayor edad de rebrote (70 días), registró las menores (p<0,05) concentraciones de ácido acético y ácido láctico, con una mayor (p<0,05) pérdida de nitrógeno amoniacal (del 32,9 y 84,0 %, con respecto a 28 y 42 días de rebrote, respectivamente; Cuadro 4). Los contenidos de ácido acético y láctico en el tratamiento control fueron menores (p<0,05) en comparación con los tratamientos que recibieron algún tipo de aditivo. La concentración de nitrógeno amoniacal presentó una interacción (p<0,05) entre el tipo de aditivo y la edad de corte (Figura 1). En ese sentido, el ensilaje de pasto Kikuyo de 28 días de rebrote, adicionado con BAL, presentó la menor (p<0,05) concentración de nitrógeno amoniacal, comparado con el control, mientras que la utilización de glicerina en ensilaje de pasto Kikuyo con 42 (frente a los otros dos tratamientos) o 70 días de rebrote (frente al control) registró la menor concentración de este compuesto nitrogenado.



**Cuadro 4.** Efecto de la edad de rebrote y la inclusión de aditivos sobre el perfil de ácidos grasos volátiles (AGV), la evaluación organoléptica y las pérdidas durante el proceso de fermentación de ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

**Table 4.** Effect of the regrowth age and additive inclusion on volatile fatty acid (VFA) profile, organoleptic evaluation, and losses during the fermentation process of Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

Ítem	Ácido acético	Ácido láctico	NH <sub>3</sub> -N	pH <sub>f</sub>	Bloken line		EO	Pérdidas	
	%	%	g/kg N total		K	P		F	D
					%/d	d		%	
Edad rebrote (ER)									
28	1,46 <sup>a</sup>	6,03 <sup>a</sup>	66,7 <sup>b</sup>	4,34 <sup>b</sup>	0,055 <sup>a</sup>	6,2 <sup>b</sup>	78,2	0,83 <sup>b</sup>	1,82
42	1,32 <sup>a</sup>	6,27 <sup>a</sup>	48,2 <sup>c</sup>	4,37 <sup>b</sup>	0,011 <sup>b</sup>	11,1 <sup>a</sup>	78,3	1,36 <sup>a</sup>	2,32
70	1,20 <sup>b</sup>	5,27 <sup>b</sup>	88,7 <sup>a</sup>	5,11 <sup>a</sup>	0,010 <sup>b</sup>	11,9 <sup>a</sup>	77,9	1,26 <sup>a</sup>	2,95
Aditivo (A)									
Control	1,13 <sup>b</sup>	5,39 <sup>c</sup>	73,3	4,77 <sup>a</sup>	0,013 <sup>c</sup>	10,1	75,7	1,15	1,76
Glicerina	1,41 <sup>a</sup>	5,95 <sup>b</sup>	70,8	4,58 <sup>b</sup>	0,026 <sup>b</sup>	10,3	80,0	1,21	2,66
BAL	1,42 <sup>a</sup>	6,16 <sup>a</sup>	61,6	4,50 <sup>b</sup>	0,037 <sup>a</sup>	8,9	78,5	1,08	2,61
EEM	0,029	0,052	4,40	0,030	0,0351	0,66	1,54	0,044	1,154
Efecto									
ER	***	***	***	***	***	**	ns	***	ns
A	***	***	ns	***	**	ns	ns	+	ns
ERxA	ns	ns	***	***	ns	+	ns	ns	ns

NH<sub>3</sub>-N: nitrógeno amoniacal; pH<sub>f</sub>: pH final; K: tasa de caída; P: tiempo al que el pH se estabiliza; EO: evaluación organoléptica; F: pérdidas por fermentación; D: pérdidas por deterioro / NH<sub>3</sub>-N: ammoniacal nitrogen; pH<sub>f</sub>: final pH; K: rate constant; P: time at which the pH stabilizes; EO: organoleptic evaluation; F: fermentation losses; D: losses due to aerobic deterioration.

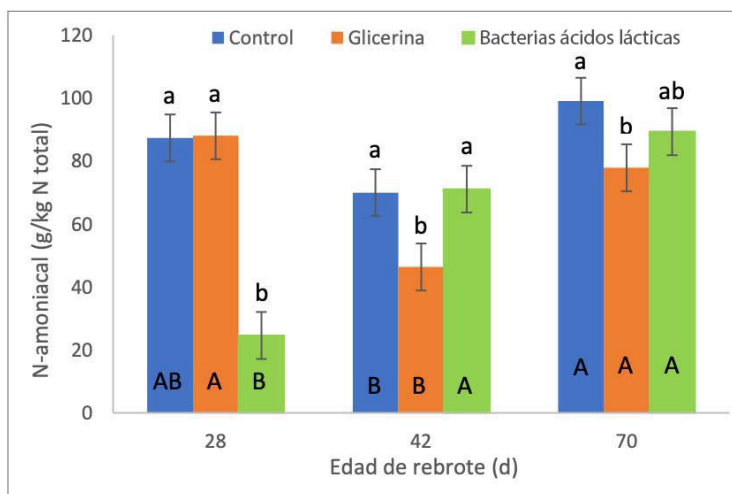
BAL: bacterias ácido lácticas; EEM: error estándar de la media; ER: efecto de la edad de rebrote; A: efecto del aditivo; ERxA: efecto de la interacción edad de rebrote y aditivo. / BAL: lactic acid bacteria; ER: effect of regrowth days; EEM: mean standard error; A: Effect of additive inclusion; ERxA: effect of the interaction between regrowth age and additive inclusion.

<sup>a,b,c</sup>. Letras diferentes en la misma columna, para cada factor experimental, representan diferencias significativas. ns: no significativo, +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01, \*\*\*: p<0,001. / <sup>abc</sup> Different letters in the same column, for each experimental factor, represent significant differences. ns: not significant, +: p<0.1; \*: p<0.05; \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

### Dinámica del pH

Se presentó interacción entre la edad de rebrote (ER) y el aditivo (A) sobre el pH final ( $p < 0,05$ ). El ensilaje de pasto Kikuyo elaborado con forraje de 70 días de rebrote o sin aplicación de aditivos presentó un mayor ( $p < 0,05$ ) valor de pH final. Además, la utilización de glicerina o BAL aumentó ( $p < 0,05$ ) la tasa de descenso en el pH. Por otro lado, el forraje de 28 días de rebrote presentó una mejor ( $p < 0,05$ ) dinámica de fermentación (mayor tasa de descenso y menor tiempo de estabilización), comparado con las otras dos edades de rebrote (Cuadro 4). De manera particular, no se observaron diferencias entre los tratamientos en pasto Kikuyo de 28 días de rebrote, pero la adición de BAL redujo ( $p < 0,05$ ) el pH final del forraje de 42 días, comparado con el control, y la inclusión de aditivos redujo ( $p < 0,05$ ) el pH del ensilaje en forraje de 70 días de rebrote (Figura 2). Además, la utilización de glicerina o BAL aumentó ( $p < 0,05$ ) la tasa de descenso en el pH (Cuadro 4). Por otro lado, el forraje de 28 días de rebrote +



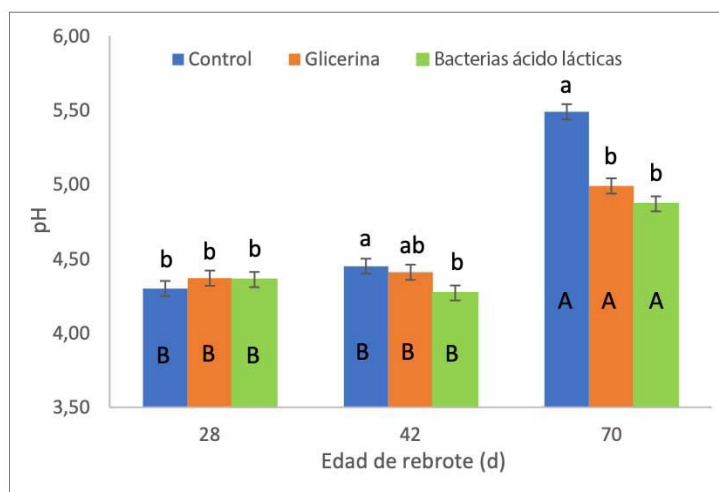


**Figura 1.** Efecto de la edad de rebrote e inclusión de aditivos sobre el contenido de nitrógeno amoniacal en ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a,b</sup>. Valores con letras minúsculas diferentes, en cada edad de rebrote, indican diferencias significativas entre aditivos. <sup>A,B</sup>. Valores con letras mayúsculas diferentes, para cada aditivo, indican diferencias significativas entre edades de rebrote.

**Figure 1.** Effect of regrowth age and additive inclusion on ammoniacal nitrogen content in Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a, b</sup> Values with different lowercase letters, at each regrowth age, indicate significant differences between additives. <sup>A,B</sup> Values with different capital letters, for each additive, indicate significant differences between regrowth ages.



**Figura 2.** Efecto de la edad de rebrote y uso de aditivos sobre el pH final del ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a,b</sup>. Valores con letras minúsculas diferentes, en cada edad de rebrote, indican diferencias significativas entre aditivos. <sup>A,B</sup>. Valores con letras mayúsculas diferentes, para cada aditivo, indican diferencias significativas entre edades de rebrote.

**Figure 2.** Effect of regrowth age and additive usage on final pH of Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a, b</sup> Values with different lowercase letters, at each regrowth age, indicate significant differences between additives. <sup>A,B</sup> Values with different capital letters, for each additive, indicate significant differences between regrowth ages.

presentó una mejor ( $p < 0,05$ ) dinámica de fermentación (mayor tasa de descenso y menor tiempo de estabilización) en comparación con las otras dos edades de rebrote (Cuadro 4).

#### *Características organolépticas y pérdidas durante el proceso de ensilaje*

Los factores evaluados no afectaron ( $p > 0,05$ ) las características organolépticas del ensilaje de pasto Kikuyo (Cuadro 4). Sin embargo, las pérdidas por fermentación fueron menores ( $p < 0,05$ ) cuando se conservó pasto Kikuyo de 28 días de rebrote.

### **Experimento 2. Efecto del tamaño de picado y uso de aditivos sobre la calidad del ensilaje de pasto Kikuyo**

Como solo se observó un efecto significativo de la interacción entre los factores tamaño del picado y uso de aditivos para acetato, lactato y pH final, los resultados se presentan como las medias de los efectos principales para las diferentes variables evaluadas.

#### *Composición química y nutricional*

El menor tamaño de picado (1,5 cm) generó una menor ( $p < 0,05$ ) concentración de FDA y una mayor ( $p < 0,05$ )  $EN_L$ , en comparación con los otros tamaños de partícula evaluados (Cuadro 5), así como una mayor DISMS, comparado con la planta completa. Además, el ensilaje de pasto Kikuyo elaborado con la planta completa presentó menor ( $p < 0,05$ ) concentración de MS y PC, y mayor ( $p < 0,05$ ) PCS y CS en comparación con los otros tamaños de picado evaluados. La utilización de glicerina cruda incrementó ( $p < 0,05$ ) la concentración de PC, CS y la  $EN_L$ , comparado con el tratamiento control.

#### *Perfil de ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal*

La concentración de ácido láctico fue menor ( $p < 0,05$ ) y el nitrógeno amoniacal fue mayor ( $p < 0,05$ ) en el ensilaje de pasto Kikuyo realizado con la planta completa. Con relación al uso de aditivos, se encontró que la utilización de BAL aumentó ( $p < 0,05$ ) el contenido de ácido acético y disminuyó ( $p < 0,05$ ) la concentración de nitrógeno amoniacal, respecto a los otros dos tratamientos. Además, la concentración de ácido láctico en el ensilaje que no recibió ningún tipo de aditivos fue menor ( $p < 0,05$ ) (Cuadro 6).

La aplicación de BAL en pasto Kikuyo picado incrementó ( $p < 0,05$ ) la concentración de ácido láctico en comparación con el tratamiento control, mientras que en ensilaje de la planta completa, la inclusión de glicerina aumentó ( $p < 0,05$ ) el contenido de este ácido orgánico (Figura 3). Además, con el incremento en el tamaño de picado del pasto Kikuyo se redujo ( $p < 0,05$ ) la concentración de ácido láctico en el tratamiento con BAL (Figura 3).

#### *Dinámica del pH*

El tratamiento control registró una tasa de caída mayor ( $p < 0,05$ ) y un tiempo de estabilización menor ( $p < 0,05$ ), comparado con la utilización de glicerina. Se presentó interacción entre el TPxA sobre el pH final (Cuadro 6). En el material vegetal picado el pH no presentó diferencias ( $p > 0,05$ ) por el uso de aditivos. Sin embargo, en la planta completa, el pH fue menor ( $p < 0,05$ ) con la inclusión de glicerina o BAL (Figura 4).

**Cuadro 5.** Composición química y nutricional de ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) elaborado con diferente tamaño de picado e inclusión de aditivos. Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

**Table 5.** Chemical and nutritional composition of Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage prepare with different cutting sizes and additive inclusion. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

Ítem	MS	PC	PCS	FDN	FDA	CNE	CS	DISMS	EN <sub>L</sub>
	%								
Tamaño picado (TP)									
1,5 cm	24,3 <sup>a</sup>	14,0 <sup>a</sup>	38,1 <sup>b</sup>	57,6	29,5 <sup>b</sup>	8,4 <sup>a</sup>	0,86 <sup>b</sup>	68,2 <sup>a</sup>	1,26 <sup>a</sup>
3,0 cm	22,8 <sup>b</sup>	13,7 <sup>a</sup>	37,7 <sup>b</sup>	58,8	33,5 <sup>a</sup>	7,7 <sup>b</sup>	0,79 <sup>b</sup>	65,3 <sup>ab</sup>	1,22 <sup>b</sup>
Planta completa	22,5 <sup>b</sup>	11,8 <sup>b</sup>	43,1 <sup>a</sup>	59,2	33,7 <sup>a</sup>	11,1 <sup>a</sup>	1,96 <sup>a</sup>	63,1 <sup>b</sup>	1,20 <sup>b</sup>
Aditivo (A)									
Control	22,3	12,8 <sup>b</sup>	40,6	58,9	32,8	9,1	1,13 <sup>b</sup>	64,2 <sup>b</sup>	1,21 <sup>b</sup>
Glicerina	23,8	13,5 <sup>a</sup>	41,9	58,6	31,6	10,2	1,96 <sup>a</sup>	67,8 <sup>a</sup>	1,24 <sup>a</sup>
BAL	23,4	13,1 <sup>ab</sup>	41,6	58,0	32,3	9,1	1,55 <sup>ab</sup>	64,6 <sup>b</sup>	1,23 <sup>ab</sup>
EEM	0,52	0,18	0,69	0,56	0,58	0,36	0,17	0,88	0,005
Efecto									
TP	*	***	**	ns	***	***	***	**	***
A	+	*	ns	ns	ns	*	**	*	*
TPxA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

MS: materia seca; PC: proteína cruda; PCS: proteína cruda soluble; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; CNE: carbohidratos no estructurales; CS: carbohidratos solubles; DISMS: digestibilidad *in situ* de la materia seca; EN<sub>L</sub>: energía neta de lactancia. / MS: dry matter; PC: crude protein; PCS: soluble crude protein; FDN: fiber in neutral detergent; FDA: fiber in acid detergent; CNE: non-structural carbohydrates; CS: soluble carbohydrates; DISMS: *in situ* dry matter digestibility; EN<sub>L</sub>: net lactation energy.

BAL: bacterias ácido lácticas; EEM: error estándar de la media; TP: efecto del tamaño de picado; A: efecto del aditivo; TPxA: efecto de la interacción entre el tamaño de picado y aditivo. / BAL: lactic acid bacteria; EEM: mean standar error; TP: effect of chopping length; A: effect of the additive; TPxA: effect of the interaction between chopping length and additive.

<sup>a,b,c</sup>. Letras diferentes en la misma columna, para cada factor experimental, representan diferencias significativas. ns: no significativo, +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01, \*\*\*: p<0,001/ <sup>abc</sup> Different letters in the same column, for each experimental factor, represent significant differences. ns: not significant, +: p<0.1; \*: p<0.05; \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

### *Características organolépticas y pérdidas durante el proceso de ensilaje*

La utilización de glicerina o BAL mejoró (p<0,05) la evaluación organoléptica del ensilaje de pasto Kikuyo. La elaboración de ensilaje de pasto Kikuyo con la planta completa afectó (p<0,05) de forma negativa las características organolépticas, en comparación con el picado del material vegetal. Además, el ensilaje de la planta completa presentó mayor daño (p<0,05) comparado con el picado de menor tamaño (Cuadro 6).

### **Experimento 3. Efecto del tiempo de oreo y el uso de aditivos sobre la calidad del ensilaje de pasto Kikuyo**

Como solo se observó un efecto significativo de la interacción entre el tiempo de oreo y el uso de aditivos para ácido acético y láctico, los resultados se presentan como las medias de los efectos principales para las diferentes variables evaluadas.

**Cuadro 6.** Efecto del tamaño de picado y la inclusión de aditivos sobre el perfil de ácidos grasos volátiles (AGV), la evaluación organoléptica y las pérdidas por el proceso de ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

**Table 6.** Effect of cutting size and additive inclusion on volatile fatty acid (VFA) profile, the organoleptic evaluation, and losses during the silage process in Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

Ítem	Ácido acético %	Ácido láctico %	NH <sub>3</sub> -N g/kg N total	pH <sub>f</sub>	Bloken line		EO	Pérdidas	
					K	P		F	D
					%/d	d		%	
Tamaño picado (TP)									
1,5 cm	1,29	6,11 <sup>a</sup>	112,4 <sup>b</sup>	4,40 <sup>b</sup>	0,023	8,7	79,6 <sup>a</sup>	1,23	0,19 <sup>b</sup>
3,0 cm	1,32	6,27 <sup>a</sup>	48,1 <sup>c</sup>	4,34 <sup>b</sup>	0,019	11,1	78,9 <sup>a</sup>	1,36	1,71 <sup>ab</sup>
Planta completa	1,33	5,61 <sup>b</sup>	188,5 <sup>a</sup>	4,71 <sup>a</sup>	0,016	11,2	62,5 <sup>b</sup>	1,92	2,76 <sup>a</sup>
Aditivo (A)									
Control	1,07 <sup>c</sup>	5,48 <sup>b</sup>	146,3 <sup>a</sup>	4,55	0,027 <sup>a</sup>	8,5 <sup>b</sup>	70,1 <sup>b</sup>	1,41	2,27
Glicerina	1,34 <sup>b</sup>	6,23 <sup>a</sup>	119,9 <sup>b</sup>	4,42	0,013 <sup>b</sup>	12,1 <sup>a</sup>	75,7 <sup>a</sup>	1,21	1,87
BAL	1,50 <sup>a</sup>	6,23 <sup>a</sup>	83,6 <sup>c</sup>	4,46	0,018 <sup>ab</sup>	10,4 <sup>ab</sup>	75,2 <sup>a</sup>	1,89	0,53
EEM	0,028	0,055	1,63	0,041	0,0027	0,76	0,91	0,449	0,633
Efecto									
TP	ns	***	***	***	ns	+	***	ns	ns
A	***	***	***	ns	*	*	***	ns	ns
TPxA	***	***	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

NH<sub>3</sub>-N: nitrógeno amoniacal; pH<sub>f</sub>: pH final; K: tasa de caída; P: tiempo al que el pH se estabiliza; EO: evaluación organoléptica; F: pérdidas por fermentación; D: pérdidas por deterioro aerobio / NH<sub>3</sub>-N: ammoniacal nitrogen; pH<sub>f</sub>: observed final pH; K: constant rate; P: time at which the pH stabilizes; EO: organoleptic evaluation; F: fermentation losses; D: losses due to aerobic deterioration.

BAL: bacterias ácido lácticas; EEM: error estándar de la media; TP: efecto del tamaño de picado; A: efecto del aditivo; TPxA: efecto de la interacción entre el tamaño de picado y aditivo. / BAL: lactic acid bacteria; EEM: mean standard error; TP: effect of chopping length; A: effect of the additive; TPxA: effect of the interaction between chopping length and additive.

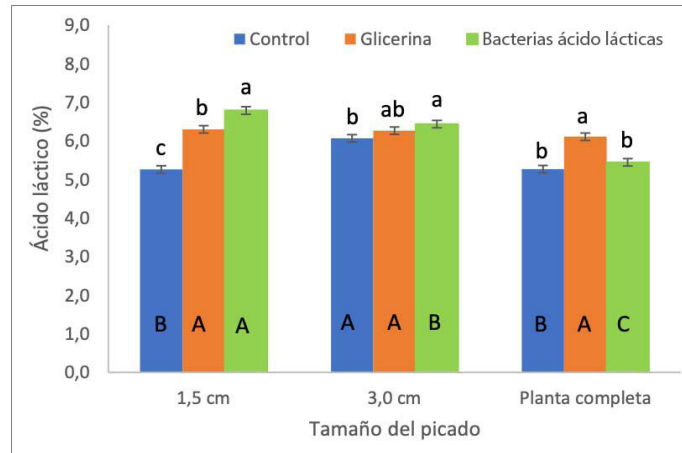
<sup>a,b,c</sup>. Letras diferentes en la misma columna, para cada factor experimental, representan diferencias significativas. ns: no significativo, +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01, \*\*\*: p<0,001/ <sup>abc</sup> Different letters in the same column, for each experimental factor, represent significant differences. ns: not significant, +: p<0.1; \*: p<0.05; \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

### Composición química y nutricional

El tiempo de oreo generó menores (p<0,05) concentraciones de PC y PCS y un incremento en la MS y FDA, comparado con el tratamiento sin oreo (Cuadro 7). El ensilaje elaborado con glicerina registró mayor (p<0,05) MS y DISMS en relación con el tratamiento control y BAL.

### Perfil de ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal

El ensilaje que no fue sometido a oreo y el adicionado con BAL, registraron mayor (p<0,05) concentración de ácido láctico y menor (p<0,05) de nitrógeno amoniacal (Cuadro 8). Se presentó interacción TP x A sobre las concentraciones de ácido acético y de ácido láctico. La concentración de ácido acético en los tratamientos con

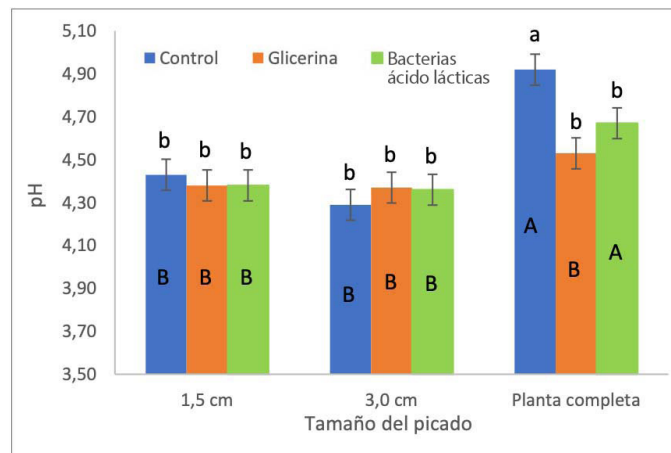


**Figura 3.** Efecto del tamaño de picado y el uso de aditivos sobre la concentración de ácido láctico en ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a,b</sup> Valores con letras minúsculas diferentes, en cada tamaño del picado, indican diferencias significativas entre aditivos. <sup>A,B</sup> Valores con letras mayúsculas diferentes, para cada aditivo, indican diferencias significativas entre tamaños de picado.

**Figure 3.** Effect of cutting size and additive usage on lactic acid concentration in Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a,b</sup> Values with different lowercase letters, at each chopping length, indicate significant differences between additives. <sup>A,B</sup> Values with different capital letters, for each additive, indicate significant differences between chopping length.



**Figura 4.** Efecto del tamaño de picado y uso de aditivos sobre el pH final observado en ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a,b</sup> Valores con letras minúsculas diferentes, en cada tamaño del picado, indican diferencias significativas entre aditivos. <sup>A,B</sup> Valores con letras mayúsculas diferentes, para cada aditivo, indican diferencias significativas entre tamaños de picado.

**Figure 4.** Effect of cutting size and additive usage on the final pH observed in Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a,b</sup> Values with different lowercase letters, at each chopping length, indicate significant differences between additives. <sup>A,B</sup> Values with different capital letters, for each additive, indicate significant differences between chopping length.

**Cuadro 7.** Composición química y nutricional de ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) elaborado con diferentes tiempos de oreo y aditivos. Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

**Table 7.** Chemical and nutritional composition of Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage prepared with different wilting times and additives. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

Ítem	MS	PC	PCS	FDN	FDA	CNE	CS	DISMS	EN <sub>L</sub> Mcal/kg
%									
Tiempo oreo (TO, h)									
0	22,9 <sup>b</sup>	13,7 <sup>a</sup>	44,5 <sup>a</sup>	58,8	33,5 <sup>b</sup>	7,7	0,79	65,3	1,23
6	25,9 <sup>a</sup>	12,4 <sup>b</sup>	37,7 <sup>b</sup>	59,6	34,9 <sup>a</sup>	6,7	0,62	65,1	1,22
EEM	0,23	0,15	0,74	0,40	0,55	0,35	0,12	1,00	0,50
Aditivo (A)									
Control	23,8 <sup>b</sup>	12,8	36,2	59,0	35,0	7,0	0,63	64,6 <sup>b</sup>	1,22
Glicerina	25,3 <sup>a</sup>	13,1	36,6	58,8	33,2	7,8	0,87	67,4 <sup>a</sup>	1,23
BAL	24,1 <sup>b</sup>	13,2	36,7	59,2	34,6	6,6	0,58	64,2 <sup>b</sup>	1,23
EEM	0,29	0,19	0,92	0,49	0,68	0,43	0,15	1,23	0,006
Efecto									
TO	***	***	*	ns	+	+	ns	ns	ns
A	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
TOxA	ns	ns	ns	+	ns	ns	ns	+	ns

MS: materia seca; PC: proteína cruda; PCS: proteína cruda soluble; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; CNE: carbohidratos no estructurales; CS: carbohidratos solubles; DISMS: digestibilidad *in situ* de la materia seca; EN<sub>L</sub>: energía neta de lactancia. / MS: dry matter; PC: crude protein; PCS: soluble crude protein; FDN: fiber in neutral detergent; FDA: fiber in acid detergent; CNE: non-structural carbohydrates; CS: soluble carbohydrates; DISMS: *in situ* dry matter digestibility; EN<sub>L</sub>: net lactation energy.

BAL: bacterias ácido lácticas; EEM: error estándar de la media; TO: efecto del tiempo de oreo; A: efecto del aditivo; TOxA: efecto de la interacción entre el tiempo de oreo y aditivo. / BAL: lactic acid bacteria; EEM: Mean standard error; TO: effect of wilting period; A: effect of additive; TOxA: effect of the interaction between wilting period and additives.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en la misma columna, para cada factor experimental, representan diferencias significativas. ns: no significativo, +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01, \*\*\*: p<0,001/ <sup>abc</sup> Different letters in the same column, for each experimental factor, represent significant differences. ns: not significant, +: p<0.1; \*: p<0.05; \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

glicerina y BAL fue mayor (p<0,05) al someter el material a oreo de 6 h y en el material fresco (0 h), mientras que disminuyó su concentración con la adición de BAL y en el control en el forraje sometido a oreo de 6 h (Figura 5). Con respecto al ácido láctico, la concentración fue mayor (p<0,05) en el ensilaje adicionado con BAL, seguido de glicerina, en cada tiempo de oreo. Además, en el ensilaje sin aditivos el contenido de este ácido orgánico fue menor (p<0,05) al dejar al ambiente por 6 h (Figura 6).

### Dinámica del pH

El tiempo de oreo incrementó (p<0,05) el pH final (Cuadro 8). Los demás parámetros que describen la dinámica del pH no fueron afectados (p>0,05) por el oreo o la utilización de aditivos.

**Cuadro 8.** Efecto del tiempo de oreo y la inclusión de aditivos sobre el perfil de AGV, la evaluación organoléptica y las pérdidas por el proceso de ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

**Table 8.** Effect of wilting time and additive inclusion on volatile fatty acid (VFA) profile, organoleptic evaluation, and the losses due to the silage process in Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) grass. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

Ítem	Ácido acético	Ácido láctico	NH <sub>3</sub> -N	pH <sub>f</sub>	Broken line		EO	Pérdidas	
	%		g/kg N total		K	P		F	D
					%/d	d			%
Tiempo oreo (TO, h)									
0	1,32	6,27 <sup>a</sup>	51,3 <sup>b</sup>	4,34 <sup>b</sup>	0,019	10,8	78,6 <sup>a</sup>	1,36	2,51 <sup>b</sup>
6	1,37	5,81 <sup>b</sup>	119,2 <sup>a</sup>	4,54 <sup>a</sup>	0,014	11,3	73,6 <sup>b</sup>	1,30	6,46 <sup>a</sup>
EEM	0,033	0,036	0,99	0,018	0,0030	1,09	1,00	0,049	1,253
Aditivo (A)									
Control	0,78 <sup>c</sup>	5,35 <sup>c</sup>	98,8 <sup>a</sup>	4,48	0,022	10,2	72,9 <sup>b</sup>	1,26	5,11
Glicerina	1,77 <sup>a</sup>	6,24 <sup>b</sup>	83,4 <sup>b</sup>	4,44	0,010	12,7	77,4 <sup>a</sup>	1,38	4,22
BAL	1,42 <sup>b</sup>	6,42 <sup>a</sup>	73,5 <sup>c</sup>	4,41	0,017	10,2	78,2 <sup>a</sup>	1,37	4,13
EEM	0,040	0,043	2,24	0,022	0,0037	1,34	1,20	0,058	1,53
Efecto									
TP	ns	***	***	***	ns	ns	**	ns	*
A	***	***	***	ns	ns	ns	*	ns	ns
TPxA	***	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

NH<sub>3</sub>-N: nitrógeno amoniacal; pH<sub>f</sub>: pH final; K: tasa de caída; P: tiempo al que el pH se estabiliza; EO: evaluación organoléptica; F: pérdidas por fermentación; D: pérdidas por deterioro aerobio. / NH<sub>3</sub>-N: ammoniacal nitrogen; pH<sub>f</sub>: final pH; K: rate constant; P: time at which the pH stabilizes; EO: organoleptic evaluation; F: fermentation losses; D: losses due to aerobic deterioration.

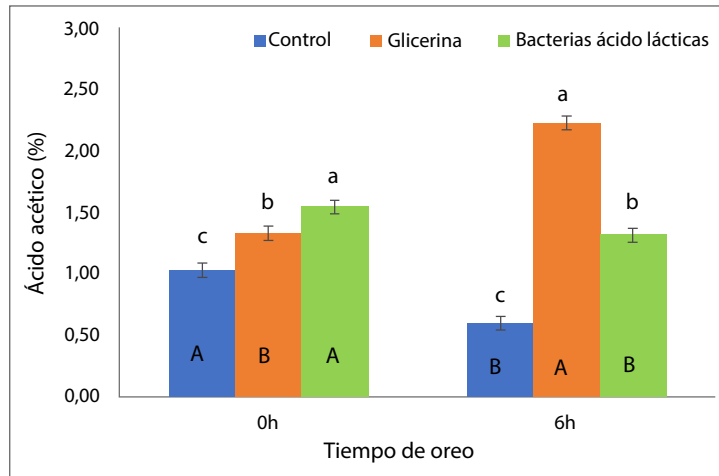
BAL: bacterias ácido lácticas; EEM: error estándar de la media; TO: efecto del tiempo de oreo; A: efecto del aditivo; TOxA: Efecto de la interacción entre el tiempo de oreo y aditivo. / BAL: lactic acid bacteria; EEM: mean standard error; TO: effect of wilting period; A: effect of additive; TOxA: effect of the interaction between wilting period and additives.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en la misma columna, para cada factor experimental, representan diferencias significativas. ns: no significativo, +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01, \*\*\*: p<0,001/ <sup>abc</sup> Different letters in the same column, for each experimental factor, represent significant differences. ns: not significant, +: p<0.1; \*: p<0.05; \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

### *Características organolépticas y pérdidas durante el proceso de ensilaje*

El oreo del pasto Kikuyo afectó (p<0,05) las características organolépticas del ensilaje y generó mayores (p<0,05) pérdidas por daño aerobio (Cuadro 8). La adición de glicerina o BAL mejoró (p<0,05) las características organolépticas del material ensilado, comparado con la no utilización de aditivos.



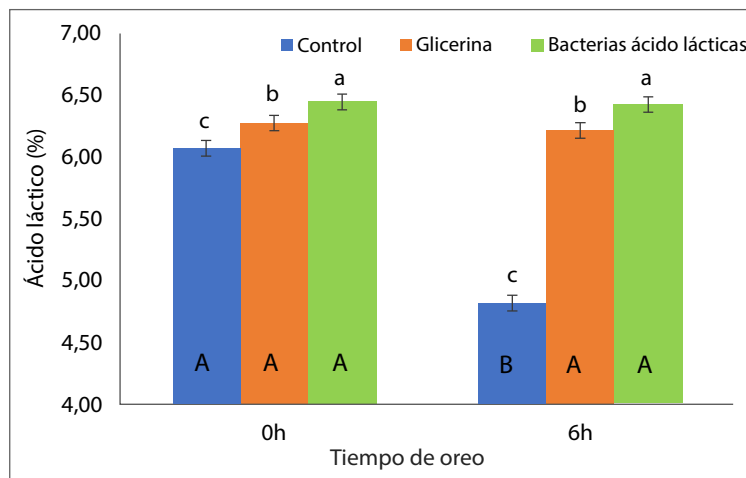


**Figura 5.** Efecto del tiempo de oreo y uso de aditivos sobre la concentración de ácido acético en el ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a,b</sup>. Valores con letras minúsculas diferentes, en cada tiempo de oreo, indican diferencias significativas entre aditivos. <sup>A,B</sup>. Valores con letras mayúsculas diferentes, para cada aditivo, indican diferencias significativas entre tiempos de oreo.

**Figure 5.** Effect of wilting time and additive usage on acetic acid concentration in Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a, b</sup> Values with different lowercase letters, at each wilting period indicate significant differences between additives. <sup>A,B</sup> Values with different capital letters, for each additive, indicate significant differences between wilting periods.



**Figura 6.** Efecto del tiempo de oreo y uso de aditivos sobre la concentración de ácido láctico en el ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a,b</sup>. Valores con letras minúsculas diferentes, en cada tiempo de oreo, indican diferencias significativas entre aditivos. <sup>A,B</sup>. Valores con letras mayúsculas diferentes, para cada aditivo, indican diferencias significativas entre tiempos de oreo.

**Figure 6.** Effect of wilting time and additive usage on lactic acid concentration in Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) grass silage. Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2020.

<sup>a, b</sup> Values with different lowercase letters, at each wilting period indicate significant differences between additives. <sup>A,B</sup> Values with different capital letters, for each additive, indicate significant differences between wilting periods.

## Discusión

Los valores de materia seca del pasto Kikuyo fresco en este estudio variaron entre 15,9 % y 22,3 %, respuesta asociada a la falta de marchitamiento del pasto; además, la concentración de carbohidratos solubles fue menor de 2,36 %. Lo anterior indica que la materia seca del pasto Kikuyo de 28 y 42 días de rebrote y en general, todas las muestras de forraje, presentaron restricciones para la elaboración de ensilaje (Martínez-Fernández et al., 2013).

Con el incremento en la edad de rebrote se observó una reducción de la PC del ensilaje, que previamente había sido reportada (Bijelić et al., 2015; Perčulija et al., 2011) y se asocia a la composición química y nutricional del forraje fresco (Moloney et al., 2020). Además, el ensilaje de pastos con mayor madurez resulta en el incremento en la pared celular y la reducción en la digestibilidad (Heeren et al., 2014; Kiš et al., 2005). Este incremento en el contenido de pared celular es independiente del proceso de conservación, tal como lo reportan Silva Déley et al. (2019), quienes obtuvieron una reducción en la digestibilidad de la MS de heno de pasto Kikuyo de acuerdo con la edad de rebrote.

En los experimentos del presente estudio la concentración de ácido láctico varió entre 5,27 % y 6,42 %, lo que indica que la concentración de carbohidratos no estructurales en la biomasa fresca (3,4 % – 5,6 %) fue insuficiente para el proceso, en algunos casos, ya que los valores típicos indican que en ensilaje de pasto oscilan entre 6 % y 10 % de ácido láctico (Kung Jr. et al., 2018). De igual manera, el valor mínimo observado de pH fue de 3,9 y el máximo fue 5,1, este último fue del Kikuyo de 70 días de rebrote, lo que sugiere que el proceso de ensilaje presentó dificultad en este forraje, ya que los valores normales tienen un límite superior de 4,7 (Kung Jr. et al., 2018).

El incremento en el pH para ensilaje de pasto Kikuyo más maduro, contrasta con lo reportado por Bijelić et al. (2015) para ensilaje de diferentes mezclas con alfalfa y dos tiempos de cosecha (temprano y en floración), en donde no se presentó efecto de la madurez del forraje sobre esta variable (pH 4,6, en promedio). Es posible que las características de los materiales (por ejemplo, gramínea vs. leguminosa o C4 vs. C3 especies), la acumulación de nutrientes y las tasas de madurez, puedan explicar las diferencias observadas entre los dos experimentos.

Los resultados de los experimentos realizados en el estudio actual, ratifican el hecho de que la adición de BAL mejora la eficiencia del proceso de fermentación de los forrajes, pero no mejora la digestibilidad de la MS, tal como lo reportaron Oliveira et al. (2017). La utilización de BAL tendió a incrementar la concentración de ácido láctico, producto derivado de la actividad fermentativa de estos microorganismos, resultado que es consistente con lo reportado por Auerbach & Nadeau (2020), con la inclusión de una mezcla de bacterias hetero y homofermentativas que logró reducir el pH final y aumentar la concentración de este ácido orgánico.

La utilización de glicerina redujo las pérdidas de material vegetal y mejoró la composición química del ensilaje, lo cual también ha sido reportado por otros autores (Pereira Santos et al., 2015; Watte Schwingel et al., 2020) e indica un efecto supresor del crecimiento de poblaciones de microorganismos que afectan la calidad del ensilaje (Bensimon Gomes et al., 2015). Aunado al anterior hallazgo, en este estudio la inclusión de glicerina cruda al 2 % incrementó la concentración de ácido láctico; sin embargo, Kass et al. (2012) a pesar de que reportaron un incremento en las poblaciones de lactobacilos, observaron una reducción en la concentración de este ácido, lo que puede sugerir una mayor eficiencia en la formación de lactato a partir de glicerina.

El tamaño de la partícula fue un factor determinante en el proceso de elaboración de ensilaje, lo que influyó sobre el valor del pH final, asociado a la capacidad de colonización por parte de los microorganismos, tal como ha sido reportado (Boschini-Figueroa & Pineda-Cordero, 2016; Castle et al., 1979). Además, un tamaño de partícula menor generó un incremento en la digestibilidad, efecto que ha sido documentado (Castle et al., 1979; Tayyab et al., 2019) y que está asociado a una mayor área de ataque y consolidación de las poblaciones microbiales (McDonald et al., 1991). Es importante además, tener en cuenta el costo del picado, para realizar un balance del costo beneficio del proceso de ensilaje.

La disminución en la concentración de ácido láctico del ensilaje elaborado con la planta entera, se puede relacionar con una resistencia de la biomasa vegetal al empaquetamiento, lo que no permite la exclusión del aire y afecta el proceso de fermentación (Lyimo et al., 2018), contrario a lo ocurrido con tamaños de picado pequeños en donde se logra mayor eficiencia en la compresión y menor pH final (Neumann et al., 2007).

La alta concentración de N-amoniaco en pasto de 70 días de rebrote se puede asociar al efecto proteolítico de los clostridios que proliferan en ensilajes que contienen baja concentración de carbohidratos solubles en agua (McDonald et al., 1991). Además, el retraso en el empaque del material vegetal incrementa el número de levaduras más de mil veces, lo que se traduce en un incremento del N-amoniaco en cerca del 40 % (Mills & Kung Jr., 2002). También se observó un incremento lineal en la concentración de nitrógeno amoniaco con el retraso en el sellado, asociado a una alteración en el patrón de fermentación (Crook et al., 2020).

Como se observó en el pasto Kikuyo de 42 días de rebrote, la exposición aeróbica previa al empaque del pasto incrementó la concentración de MS, asociado a las pérdidas de humedad (Wilkinson et al., 2003). El retraso en el empaque incrementó la concentración de FDA del ensilaje de Kikuyo a expensas de los componentes solubles, resultado que también fue reportado por Crook et al. (2020) al elaborar rollos de ensilaje de raigrás, en los que además se redujo la concentración de nutrientes digestibles totales.

La fracción de proteína soluble en este trabajo se redujo en el material sometido a 6 h de oreo, lo que se relaciona con procesos térmicos y un incremento en el N ligado al FDN y FDA, tal como ocurre con ensilaje de maíz luego de dos días de exposición al ambiente (Brüning et al., 2018). El retraso también originó una reducción en la cantidad de lactato en el ensilaje, resultado similar al reportado por Weiss et al. (2016), al evaluar un retraso de 16 h en el empaque del forraje de maíz.

## Conclusiones

El incremento en la madurez del pasto Kikuyo afectó de forma negativa la calidad nutricional; sin embargo, la utilización de aditivos como glicerina o BAL mejoró la calidad en el ensilaje de Kikuyo con 70 días de rebrote.

La implementación de un picado pequeño o la inclusión de glicerina cruda, cuando se usó la planta completa, permitieron obtener un ensilaje de mejor calidad nutricional. La utilización de BAL redujo la concentración de N-amoniaco y el uso de cualesquiera de los aditivos redujo el pH final de ensilaje elaborado con la planta completa.

Bajo las condiciones del estudio, el oreo previo al empaque afectó el proceso de ensilaje.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación del estudio.

## Referencias

- Acero-Camelo, A., Molina, E., Parra-Coronado, A., Fischer, G., & Carulla-Fornaguera, J. E. (2021). Base growth temperature and phyllochron for kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*; Poaceae). *Acta Biologica Colombiana*, 26(2), 160–169. <http://doi.org/10.15446/abc.v26n2.83199>
- Acero-Camelo, A., Pabón, M. L., Fischer, G., & Carulla-Fornaguera, J. E. (2020). Optimum harvest time for Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) according to the number of leaves per tiller and nitrogen fertilization. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(3), 9243–9253. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n3.82257>

- Ariza-Nieto, C., Mayorga, O. L., Mojica, B., Parra, D., & Afanador-Tellez, G. (2017). Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 26(1), 44–52. <https://doi.org/10.1177/0967033517746900>
- Auerbach, H., & Nadeau, E. (2020). Effects of additive type on fermentation and aerobic stability and its interaction with air exposure on silage nutritive value. *Agronomy*, 10(9), Article 1229. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091229>
- Avellaneda Avellaneda, Y., Muñoz Mancupe, E. A., Vargas Martínez, J. de J. (2020). Efecto de la edad de rebrote sobre el desarrollo morfológico y la composición química del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el trópico alto colombiano. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 15(2), 23–37. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.2>
- Bensimon Gomes, M. A., Vanini de Moraes, G., Cabreira Jobim, C., Carlesso dos Santos, T., Martins Oliveira, T., & Rossi, R. M. (2015). Nutritional composition and ruminal degradability of corn silage (*Zea mays* L.) with addition of glycerin in silage. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(3 Suppl. 1), 2079–2091. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p2079>
- Bijelić, Z., Tomić, Z., Ružić-Muslić, D., Krnjaja, V., Mandić, V., Petričević, M., & Caro-Petrović, V. (2015). Silage fermentation characteristics of grass-legume mixtures harvested at two different maturity stages. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 31(2), 303–311. <https://doi.org/10.2298/BAH1502303B>
- Boschini-Figueroa, C., & Pineda-Cordero, L. (2016). Ensilaje de kikuyo (*Pennisetu clandestinum* o *kikuyucloa clandestina*) fermentado con tres aditivos. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 49–60. <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21877>
- Bravo Parra, A. M. (2021). *Cadenas sostenibles ante un clima cambiante. La ganadería en Colombia*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/114751>
- Brüning, D., Gerlach, K., Weiß, K., & Südekum, K. -H. (2018). Effect of compaction, delayed sealing and aerobic exposure on maize silage quality and on formation of volatile organic compounds. *Grass and Forage Science*, 73(1), 53–66. <https://doi.org/10.1111/gfs.12288>
- Campuzano-Duque, L. F., Castro-Rincón, E., Castillo-Sierra, J., Torres-Cuesta, D., Nieto-Sierra, D., & Portillo-López, P. (2022). Rendimiento e inclusión de ensilaje de avena forrajera (*Avena sativa* L.) AV25 en dietas para ganado lechero (*Bos primigenius Taurus*). *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), Artículo 44508. <http://doi.org/10.15517/am.v33i1.44508>
- Castle, M. E., Retter, W. C., & Watson, J. N. (1979). Silage and milk production: comparisons between grass silage of three different chop lengths. *Grass and Forage Science*, 34(4), 293–301. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1979.tb01481.x>
- Correa, H. J., Pabón, M. L., & Carulla, J. E. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov) para la producción de leche en Colombia (una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Livestock and Research for Rural Development*, 20(4), Artículo 59. <http://www.lrrd.org/lrrd20/4/corra20059.htm>
- Crook, T., Stewart, B., Sims, M., Weiss, C., Coffey, K., Coblenz, W., & Beck, P. (2020). The effects of moisture at baling and wrapping delay on storage characteristics of annual ryegrass round bale silage. *Crop Forage & Turfgrass Management*, 6(1), Article e20015. <https://doi.org/10.1002/cft2.20015>
- Elmenhorst, F. W., & Parchim, C. S. (2008). Correcting the dry matter content of grass silages as a substrate for biogas production. *Landtechnik*, 63, 82–83. <https://www.landtechnik-online.eu/landtechnik/article/download/2008-63-2-082-083/2008-63-2-082-083-en-pdf/>

- Escobar Charry, M. A., Cárdenas Rocha, E. A., & Carulla Fornaguera, J. E. (2020). Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 73(1), 9121–9130. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.77330>
- Ewen, A. (2011). *Organic acids in silage: Application note* [Brochure]. Agilent Technologies. <https://www.agilent.com/cs/library/applications/SI-1945.pdf>
- Federación Colombiana de Ganaderos. (2018, noviembre 29). *Ganadería colombiana: Hoja de ruta 2018-2022*. <https://www.fedegan.org.co/noticias/ganaderia-colombiana-hoja-de-ruta-2018-2022>
- Heeren, J. A. H., Podesta, S. C., Hatew, B., Klop, G., van Laar, H., Bannink, A., Warner, D., de Jonge, L. H., & Dijkstra, J. (2014). Rumen degradation characteristics of ryegrass herbage and ryegrass silage are affected by interactions between stage of maturity and nitrogen fertilisation rate. *Animal Production Science*, 54(9), 1263–1267. <https://doi.org/10.1071/AN14259>
- Huhtanen, P., Jaakkola, S., & Nousiainen, J. (2013). An overview of silage research in Finland: from ensiling innovation to advances in dairy cow feeding. *Agricultural Food Science*, 22(1), 35–56. <https://doi.org/10.23986/afsci.6632>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (1992). *Fertilización en diversos cultivos* (5ª aproximación, Manual de Asistencia Técnica No. 25). PRODUMEDIOS. [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/14124/27733\\_16902.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/14124/27733_16902.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Kass, M., Olt, A., Kaldmae, H., Kokk, K., Songisepp, E., & Ots, M. (2012, July 2–4). *Effects of crude glycerol addition on silage fermentation* [Conference presentation] XVI International Silage Conference, Hameenlinna, Finland.
- Kiš, G., Grbesa, D., Kostelic, A., & Karolyi, D. (2005). Estimating grass and grass silage degradation characteristics by in situ and in vitro gas production methods. *Italian Journal of Animal Science*, 4(3), 142–144. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.3s.142>
- Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Li, Y., Du, S., Sun, L., Cheng, Q., Hao, J., Lu, Q., Ge, G., Wang, Z., & Jia, Y. (2022). Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on dynamic fermentation quality and microbial community of native grass silage. *Frontiers of Microbiology*, 13, Article 830121. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.830121>
- Luo, R., Zhang, Y., Wang, F., Liu, K., Huang, G., Zheng, N., & Wang, J. (2021). Effects of sugar cane molasses addition on the fermentation quality, microbial community and tastes of alfalfa silage. *Animals*, 11(2), Article 355. <https://doi.org/10.3390/ani11020355>
- Lyimo, B. J., Mtengeti, E. J., Urio, N. A., & Demanisho, E. N. (2018). Effect of wilting, chopping length and different levels of maize bran on grass silage quality. *Livestock Research for Rural Development*, 30(6), Article 112. <http://www.lrrd.org/lrrd30/6/bmwa30112.html>
- Mancipe-Muñoz, E. A., Castillo-Sierra, J., Vargas-Martínez, J. de J., & Avellaneda-Avellaneda Y. (2022). Calidad composicional del ensilaje de tres cultivares de maíz (*Zea mays*) del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), Artículo 46412. <http://doi.org/10.15517/am.v33i2.46412>

- Martinez-Fernandez, A., Soldado, A., de la Roza-Delgado, B., Vicente, F., Gonzalez-Arrojo, M. A., & Argamenteria, A. (2013). Modelling a quantitative ensilability index adapted to forages from wet temperate areas. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2), 455–462. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3219>
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage* (2<sup>nd</sup> ed.). Chalcombe Publications.
- Mejía-Taborda, A. C., Ochoa-Ochoa, R., & Medina-Sierra, M. (2014). Effect of different doses of compound fertilizer on the quality of kikuyu grass (*Pennisetum cladeustum* Hochst. Ex Chiov.). *Pastos y Forrajes*, 37(1), 31–37. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1780>
- Mills, J. A., & Kung Jr, L. (2002). The effect of delayed ensiling and application of a propionic acid-based additive on the fermentation of barley silage. *Journal of Dairy Science*, 85(8), 1969–1975. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74273-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74273-2)
- Moloney, T., Sheridan, H., Grant, J., O’Riordan, E. G., & O’Kiely, P. (2021). Conservation efficiency and nutritive value of silages made from grass-red clover and multi-species swards compared with grass monocultures. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 59(1), 150–166. <https://doi.org/10.15212/ijaf-2020-0110>
- Neumann, M., Frenzel Mühlbach, P. R., Laerte Nörnberg, J., Restle, J., & Ost, P. R. (2007). Effect of particle size and cutting height of corn (*Zea mays* L.) on losses of silages during the fermentation process and utilization period. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(5), 1395–1405. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000600024>
- Ojeda, F., Caceres, O., & Matamorros, M. (1991). *Conservación de forrajes*. Editorial Pueblo y Educación.
- Oliveira, A. S., Weinberg, Z. G., Ogunade, I. M., Cervantes, A. A. P., Arriola, K. G., Jiang, Y., Kim, D., Li, X., Gonçalves, M. C. M., Vyas, D., & Adesogan, A. T. (2017). Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4587–4603. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11815>
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agriculture Science*, 92(2), 492–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Perčulija, G., Vranić, M., Kutnjak, H., & Leto, J. (2011). In sacco dry matter and NDF degradability of grass silage harvested at three stages of maturity. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, 68(1–2), 58–62. <https://journals.usamvcluj.ro/index.php/zootehnie/article/view/6668>
- Pereira Santos, W., Ferreira Carvalho, B., Silva Ávila, C. L., Dias Júnior, G. S., Neves Pereira, M., & Freitas Schwan, R. (2015). Glycerin as an additive for sugarcane silage. *Annals of Microbiology*, 65, 1547–1556. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0993-x>
- Piltz, J. W., Meyer, R. G., Brennan, M. A., & Boschma, S. P. (2022). Fermentation quality of silages produced from wilted sown tropical perennial grass pastures with or without a bacterial inoculant. *Agronomy*, 12(7), Article 1721. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071721>
- Pratti Daniel, J. L., Fernandes Bernardes, T., Cabreira Jobim, C., Schmidt, P., & Nussio, L. G. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass Forage Science*, 74(2), 188–200. <https://doi.org/10.1111/gfs.12417>



- Renzaho Ntakyó, P., Kirunda, H., Tugume, G., & Natuha, S. (2020). Dry season feeding technologies: Assessing the nutritional and economic benefits of feeding hay and silage to dairy cattle in South-Western Uganda. *Open Journal of Animal Sciences*, 10(3), 627–648. <https://doi.org/10.4236/ojas.2020.103041>
- Silva Déley, L. M., Acosta Velarde, J. I., Parra Gallardo, G. P., Martínez Freire, M. N., Toro Molina, B. M., Sambache Tayupanta, J. E., Peñafiel Acosta, S. E., & Chacón Marcheco, E. (2019). Forages quality of *Cenchrus clandestinum* and *Lolium perenne* forages in the form of hay at different regrowth ages. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(3), 299–306. <https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/903>
- Statistical Analysis Systems. (2016). User's guide (Version 9.4). SAS Institute Inc.
- Tayyab, U., Wilkinson, R. G., Charlton, G. L., Reynolds, C. K., & Sinclair, L. A. (2019). Grass silage particle size when fed with or without maize silage alters performance, reticular pH and metabolism of Holstein-Friesian dairy cows. *Animal*, 13(3), 524–532. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001568>
- Tulu, A., Diribsa, M., & Temesgen, W. (2020). Evaluation of seven oat (*Avena sativa*) genotypes for biomass yield and quality parameters under different locations of Western Oromia, Ethiopia. *Advances in Agricultura*, 2020, Article 822344. <https://doi.org/10.1155/2020/8822344>
- Unidad de Planeación Rural Agropecuaria. (2021). *Plan de ordenamiento productivo. Análisis prospectivo de la cadena láctea bovina colombiana*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Vargas Martínez, J. de J., Sierra Alarcón, A., M. Mancipe Muñoz, E. A., Avellaneda Avellaneda, Y. (2018). Kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), 137–156. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.13.2.4>
- Villalobos-Villalobos, L., Arce-Cordero, J., & WingChing-Jones, R. (2015). Costos de producción de ensilados de pastos tropicales elaborados en lecherías de Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 9(2), 27–48. <https://doi.org/10.15517/NAT.V9I2.21462>
- Watte Schwingel, A., Fernandes, T., Previdelli Orrico Junior, M. A., Amorim Orrico, A. C., de Lucas Junior, J., Andrade Reis, R., & Omizolo de Souza, R. (2020). The quality of crude glycerine influences the fermentation and nutritive value of Piatã grass silage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49, Article e20200114. <https://doi.org/10.37496/rbz4920200114>
- Weiss, K., Kroschewski, B., & Auerbach, H. (2016). Effects of air exposure, temperature and additives on fermentation characteristics, yeast count, aerobic stability and volatile organic compounds in corn silage. *Journal of Dairy Science*, 99(10), 8053–8069. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10323>
- Wilkinson, J. M., Bolsen, K. K., & Lin, C. J. (2003). History of silage. In D.R. Buxton, R. E. Muck, & H. J. Harrison (Eds), *Silage science and technology* (Agronomy Series No. 42, pp. 1–30). American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., & Soil Science Society of America, Inc.