

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Rendimiento y calidad del ensilaje de grano húmedo y del
forraje remanente de variedades de sorgo (*Sorghum bicolor*) en el
trópico húmedo y seco de Costa Rica**

Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de Artículo Científico para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Agricultura Alternativa

Estudiante

Bach. Isaías Antonio Gómez Hidalgo

Tutor

Dr. William Sánchez Ledezma

Asesores

M.Sc. Jose Pablo Jiménez Castro

M.Sc. Andrés Alpízar Naranjo

Campus Omar Dengo
Heredia, 2024

Tribunal Examinador

M.Sc. Allan González Herrera
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

M. Sc. Esteban Jiménez Alfaro
Escuela de Ciencias Agrarias

Dr. William Sánchez-Ledezma
Director de Tesis

M.Sc. Jose Pablo Jiménez Castro
Asesor

M.Sc. Andrés Alpizar Naranjo
Asesor

Bach. Isaías Gómez Hidalgo
Sustentante

**Rendimiento y calidad del ensilaje de grano húmedo y del
forraje remanente de variedades de sorgo (*Sorghum bicolor*) en el
trópico húmedo y seco de Costa Rica**

Bach. Isaías Antonio Gómez Hidalgo

ÍNDICE

Resumen	5
Introducción	6
Materiales y métodos	7
Ubicación y características atmosféricas	7
Tratamientos y diseño experimental	9
Establecimiento y manejo agronómico.....	9
Variables evaluadas.....	9
Resultados	11
Rendimiento de forraje y grano	11
Composición nutritiva del ensilaje de grano húmedo de sorgo (EGH).....	12
Composición nutritiva del ensilaje de forraje remanente de sorgo (EFR)	14
Discusión	15
Rendimiento de forraje y grano	15
Composición nutritiva del ensilaje de grano húmedo de sorgo (EGH).....	17
Composición nutritiva del ensilaje de forraje remanente de sorgo (EFR)	21
Conclusiones	24
Referencias	24

Rendimiento y calidad del ensilaje de grano húmedo y del forraje remanente de variedades de sorgo (*Sorghum bicolor*) en el trópico húmedo y seco de Costa Rica

Isaías Gómez-Hidalgo, William Sánchez-Ledezma, Jose Pablo Jiménez-Castro,
Andrés Alpízar-Naranjo

Resumen

Introducción. El sorgo es un cultivo que brinda forraje y grano de buena calidad nutricional para la alimentación animal, este se puede suministrar al ganado como forraje fresco o conservado mediante la técnica del ensilaje. **Objetivo.** Evaluar la producción y calidad nutritiva del ensilaje de grano húmedo (EGH) y del forraje remanente (EFR) de variedades de sorgo en el trópico húmedo y seco de Costa Rica. **Materiales y métodos.** El trabajo se realizó en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (Cañas, Guanacaste) (EEEJN) y en la Estación Experimental Los Diamantes (Guápiles, Limón) (EELD), del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) de Costa Rica, entre agosto y diciembre del 2022. Los materiales se sembraron en un diseño de bloques completos al azar, con 6 repeticiones y 3 tratamientos (variedades de sorgo), cuando las plantas se encontraban en la etapa de madurez fisiológica, se cosechó y pesó la planta completa, el grano y el forraje remanente (tallos y hojas) de forma separada, para determinar el rendimiento de cada variable. Con el grano y el forraje remanente se elaboraron ensilajes, a los cuales 35 días después de elaborados se les realizó un análisis bromatológico. **Resultados.** La variedad CENTA RCY alcanzó el mayor rendimiento de grano (3855 kg ha^{-1}) en la (EEEJN) y de forraje remanente (6781 kg ha^{-1}) en la (EELD), valores superiores ($p < 0,05$) a los obtenidos con las variedades CENTA Soberano y Eskameca. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (MS) del EGH osciló entre 88,27 y 94,11%, mientras que el del EFR no superó el 64,16%, los valores de pH de este último material fluctuaron entre 3,68 y 3,85, mientras que el contenido de proteína cruda (PC) no superó el 6,05%. **Conclusiones.** La variedad de sorgo CENTA RCY fue la que presentó mayor producción de grano y de forraje remanente. El EGH se caracterizó por poseer una alta digestibilidad, contrario al EFR y su bajo contenido proteico.

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, ensilaje de grano, ensilaje de forraje, alimentación animal.

Key words: *Sorghum bicolor*, grain silage, forage silage, animal feed.

Introducción

En el trópico la mayoría de las gramíneas utilizadas para la alimentación del ganado bovino poseen gran capacidad para la producción de biomasa; sin embargo, no siempre logran satisfacer los requerimientos nutricionales, principalmente en animales con alto potencial de producción de leche y carne bovina (Álvarez, 2019).

Comúnmente para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales y asegurar su bienestar y máximo rendimiento productivo, se hace necesario el uso de alimentos balanceados elaborados a partir de materias primas importadas (Montero, 2017); ocasionando dependencia y aumentando el costo de alimentación en los animales, lo cual representa entre 46 y 49% de la estructura total de costos de los sistemas productivos de bovinos de leche (Calvo, 2021; Cámara Nacional de Productores de Leche [CNPL], 2014).

Por lo anterior, surge la necesidad de investigar alternativas para alimentación animal, mismas que estén orientadas a la auto producción sostenible de suplementos forrajeros frescos o conservados, los cuales posean un alto valor nutritivo (Valerín, 2020).

El sorgo (*Sorghum bicolor*) es un cultivo que brinda una buena calidad nutricional para la alimentación animal, caracterizado por su alto contenido energético que aporta principalmente el grano (Getachew et al., 2016). También dispone de buena capacidad de adaptación a ambientes adversos y a la variación climática mundial asociado a insuficiencia de agua (Hossain et al., 2022).

Precisamente las condiciones climáticas del trópico se caracterizan por una marcada época seca y lluviosa, fluctuando así la disponibilidad y calidad de forraje durante el año, esto a su vez, genera cambios en la productividad de los bovinos. Para contrarrestar esta limitante, se puede utilizar la técnica de ensilaje, la cual consisten en conservar forraje mediante fermentación anaeróbica en las épocas de abundante producción, para luego utilizar este material durante los periodos críticos (Reyes et al., 2009).

El ensilaje de grano húmedo es una técnica que permite conservar granos como maíz y sorgo con alto contenido de humedad (25-30%). Esta técnica permite realizar una cosecha anticipada con el fin de obtener un grano con alto contenido de almidón y muy fermentable, el cual mejora la digestibilidad después de ser ensilado. Esto sucede, debido a la solubilización de proteínas y almidón que se da durante el proceso, permitiendo obtener un material con mayor degradación ruminal (Frank et al., 2021). Adicionalmente, cuando se

cosecha el grano de sorgo húmedo para ensilar, queda un forraje remanente, el cual se puede aprovechar como fuente de fibra importante (Cai et al., 2020).

A pesar de lo anterior, y a que el ensilaje de grano húmedo es una técnica común en algunos países de América del Sur de vocación ganadera, actualmente no existe suficiente información sobre la composición nutritiva del ensilaje de grano húmedo de sorgo (García et al., 2020).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción y calidad nutritiva del ensilaje de grano húmedo y del forraje remanente de variedades de sorgo en el trópico húmedo y seco de Costa Rica.

Materiales y métodos

Ubicación y características atmosféricas

La investigación se llevó a cabo en dos sitios: Estación Experimental Los Diamantes (EELD) ubicada en el cantón de Pococí, provincia Limón a 262 msnm, entre las coordenadas 10° 12' 42.397" latitud norte y 83° 46' 20.647" latitud oeste; y en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN), ubicada en el cantón de Cañas, provincia de Guanacaste a 45 msnm, entre las coordenadas 10° 20' 42.409" latitud norte y 85° 8' 6.744" latitud oeste, ambas del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) de Costa Rica.

El estudio se realizó entre agosto y diciembre del 2022, periodo durante el cual se registraron los siguientes datos atmosféricos en cada sitio de evaluación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos atmosféricos registrados en los dos sitios donde se realizó el estudio (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN) y Estación Experimental Los Diamantes (EELD) durante el periodo de evaluación, Costa Rica. 2022.

	EELD*				EEEJN**			
	Ago	Set	Oct	Nov	Set	Oct	Nov	Dic
Temperatura media diaria (°C)	25,6	25,3	25,2	24,7	25,9	26,40	25,9	27,0

Humedad relativa media diaria (%)	86,1	87,7	87,6	90,0	89,5	87,3	87,8	74,3
Precipitación acumulada (mm)	109,2	261,8	272,7	225,7	250,0	236,2	360,4	0
Radiación solar media día ($W m^{-2}$)	362,2	320,8	313,2	231,4	395,5	398,1	379,7	457,3

* Del 18 de agosto al 22 de noviembre del 2022.

** Del 21 de setiembre al 21 de diciembre del 2022.

En la EELD el suelo es inceptisol, ácido, deficiente en fósforo, bajo en cationes, a excepción del potasio. Las concentraciones de micronutrientes son variadas, siendo el cobre y manganeso críticos, mientras que el nivel de hierro estuvo por encima y el zinc por debajo del nivel crítico (Cuadro 2).

En la EEEJN el suelo es vertisol, con condiciones idóneas de solubilidad según pH; no presentaba acidez intercambiable y los elementos nutricionales ajustados a los niveles críticos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración química del suelo de los dos sitios donde se realizó el estudio: Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN) y Estación Experimental Los Diamantes (EELD), Costa Rica. 2022.

Sitio	pH H ₂ O	Cmol(+)/L ⁻¹				% Sat.	mg/L ⁻¹				
		Acidez	K	Ca	Mg	Acidez	P	Fe	Cu	Zn	Mn
NC	5,6-	0,5-1,5	0,2-	4-20	1-5	10-50	10-	10-	2-	2-	5-
	6,5		0,6								
EELD	5,4	0,4	0,72	0,5	0,5	20,2	8	118	7	0,8	12
EEEJN	6,1	0,1	0,62	17,9	5,7	0,4	19	19	9	1,7	28

Laboratorio de Suelos Plantas y Aguas del INTA. Solución extractora KCl-Olsen modificado, NC: nivel crítico para suelos en general según parámetros del laboratorio.

Tratamientos y diseño experimental

Se usaron las variedades Eskameca, CENTA Soberano y CENTA RCY de sorgo (*Sorghum bicolor*) de grano blanco como tratamientos. En cada sitio, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con seis repeticiones, sobre los cuales se distribuyeron al azar los tres tratamientos (variedades), en parcelas experimentales de 35 m² (5 x 7 m de ancho y largo) conformada por 7 surcos de 7 metros de largo cada uno.

Establecimiento y manejo agronómico

La preparación del terreno se realizó mediante dos pases de arado y uno de rastra. Previo a la siembra, la semilla fue tratada con carboxín + captan a razón de 100 g⁻¹ por 100 kg⁻¹ de semilla. La siembra fue manual en hileras distanciadas a 0,70 m, distribuyendo 16 kg ha⁻¹ de semilla con 95% de germinación, a chorro seguido al fondo del surco (Salvador et al., 2012), para una densidad de 266 213 plantas ha⁻¹. Después de la siembra, se aplicó atrazina a una dosis de 1,4 L ha⁻¹ como control preemergente de malezas; 30 días después de la siembra se realizó una aplicación del herbicida paraquat entre calle a una dosis de 2 L ha⁻¹ para control de malezas. También se aplicó el insecticida spinetoram con una dosis de 0,07 L ha⁻¹, debido a incidencia de *Spodoptera frugiperda*.

El plan de fertilización se ajustó a la recomendación de Fontanetto y Keller (2020), aplicando 105, 20, 77, 17 y 14 kg ha⁻¹ de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y azufre, respectivamente. El fósforo se aplicó a la siembra, mientras que el resto de los nutrientes se distribuyeron en tres fracciones iguales; al momento de la siembra, 20 y 35 días después de la siembra.

Variables evaluadas

Se evaluó el rendimiento de planta completa, grano y forraje remanente (después de cosechar las panojas), así como la calidad nutritiva del ensilaje de grano húmedo de (EGH) y del ensilaje de forraje remante (EFR) de sorgo. Para determinar las variables, la cosecha se realizó cuando las plantas alcanzaron su madurez fisiológica, lo cual se alcanzó a los 95 días de edad con la variedad Eskameca y a los 102 días de con las variedades CENTA Soberano y CENTA RCY.

El rendimiento de planta completa se obtuvo después de cosechar manualmente con machete a 10 cm de altura sobre el nivel del suelo, las tres hileras centrales de cada

parcela experimental para evitar el efecto de borde (Roig, 1989), según la metodología de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) propuesta por Toledo y Schultze-Kraft (1982).

Posteriormente, para determinar el rendimiento de grano y de forraje remanente, se cortó y trilló las panojas a las plantas cosechadas en el muestreo anterior, pesando por separado el rendimiento de grano sin residuos y el forraje, valores que al igual que el de la planta completa, luego se transformaron a kg MS ha¹, según cantidad de metros lineales disponibles por hectárea y el contenido de humedad de cada fracción de la planta.

Para evaluar la calidad nutritiva del EGH y EFR, después de realizar la cosecha y la trilla de la panoja, el grano se trituró en una moladora de granos eléctrica y se ensiló en bolsas plásticas, de forma separada por tratamiento y repetición. El forraje remanente de cada variedad y repetición, también se ensiló en bolsa plástica, después de cortarlo en trozos de entre 1,5 y 2 cm de largo y agregar un 3% de melaza en base fresca. Aunque este ensilaje se realizó únicamente en la EELD.

Después de 35 días de elaborados los ensilajes, se envió una muestra de 0,5 kg de cada bolsa al Laboratorio de Nutrición Animal del INTA para análisis de: materia seca (MS) por Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 1998), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) según Goering y Van-Soest (1970), proteína cruda (PC) por espectrofotometría de infrarrojo cercano (NIRS), cenizas (942.05 de AOAC), Lignina (949.04 de AOAC, 1965), digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS; Tilley y Terry, 1963), nitrógeno amoniacal del total de nitrógeno (N-NH₃; Tobia et al., 2004), índice de acidez (pH; pHmetro CORNIN modelo 220) y energía neta de lactancia (EN_L) según la ecuación propuesta por Adams (1994).

Análisis Estadístico

Los resultados fueron analizados mediante un diseño de bloques completos al azar en cada sitio de estudio. Estos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con su respectiva comprobación de supuestos, posteriormente se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey con una significancia de 0,05. Todos los procedimientos se realizaron con el software estadístico R versión 1.4.1717 para Windows.

Resultados

Rendimiento de forraje y grano

En la Figura 1, se presenta el rendimiento de planta completa, de grano y del forraje remanente (después de cosechar la panoja), en base seca en la EELD. Las variedades CENTA RCY y CENTA Soberano alcanzaron rendimientos de planta completa (12272 y 10343 kg MS ha⁻¹) y de forraje remanente (8424 y 7479 kg MS ha⁻¹) semejantes, posicionándose la variedad Eskameca por debajo de las dos anteriores en las mismas variables (4803 y 7064 kg MS ha⁻¹); sin embargo, el CENTA RCY produjo más grano ($p < 0,05$) (3849 kg MS ha⁻¹) con respecto al CENTA Soberano (2863 kg MS ha⁻¹) y Eskameca (2260 kg MS ha⁻¹).

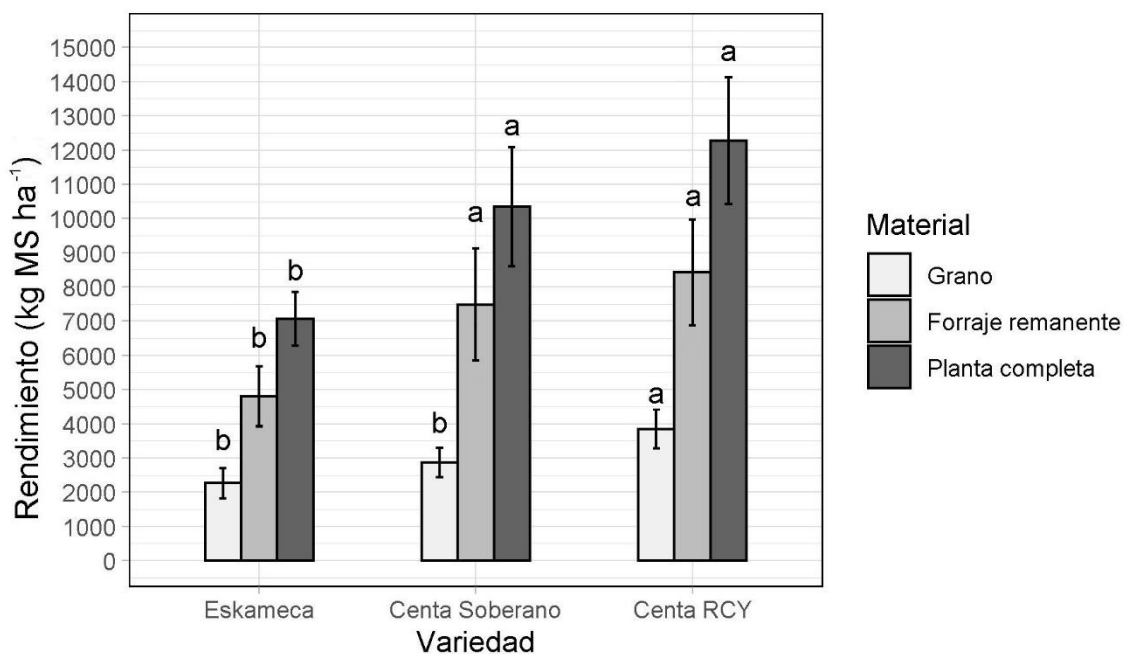


Figura 1. Rendimiento de planta completa, grano y forraje remanente en materia seca (kg MS ha⁻¹) de tres variedades de sorgo (*S. bicolor*) evaluadas en la Estación Experimental Los Diamantes (EELD), Pococí, Limón, Costa Rica. 2022.

Letras diferentes por variedad representan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los resultados obtenidos en la EEEJN se detallan en la Figura 2, donde la variedad CENTA RCY fue superior ($p < 0,05$) en las tres variables 12440, 3856 y 8584 kg MS ha⁻¹ para

planta completa, grano y forraje remanente. También se encontró, que la variedad CENTA Soberano produjo más ($p < 0,05$) forraje remanente que Eskameca (6005 y 3015 kg MS ha⁻¹), pero el rendimiento de grano de ambas variedades fue semejante (3474 y 3141 kg MS ha⁻¹). En cuanto a la producción de planta completa, la variedad CENTA Soberano fue superior ($p < 0,05$) a la variedad Eskameca (9479 y 6156 kg MS ha⁻¹).

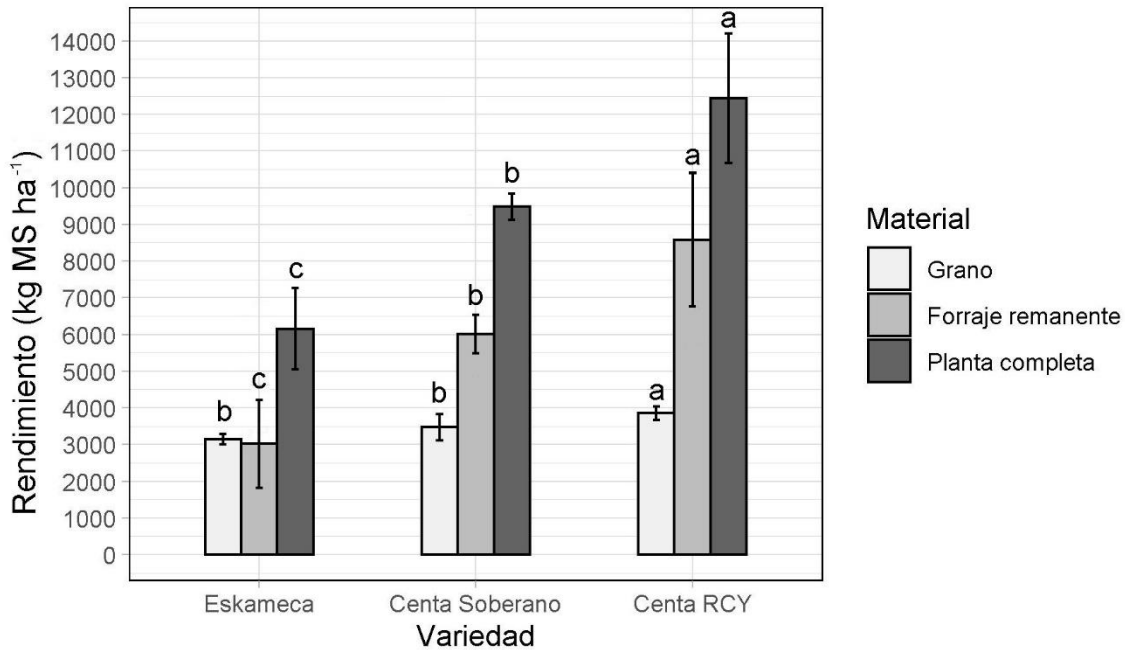


Figura 2. Rendimiento de planta completa, grano y forraje remanente en materia seca (kg MS ha⁻¹) de tres variedades de sorgo (*S. bicolor*) evaluadas en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN), Cañas, Guanacaste, Costa Rica. 2022.

Letras diferentes por variedad representan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Composición nutritiva del ensilaje de grano húmedo de sorgo (EGH)

En el Cuadro 3, se presenta la composición nutritiva del EGH en la EELD. El contenido de FDA, lignina, ceniza, DIVMS, el pH y la EN_L del ensilaje de grano, no fue diferente ($p > 0,05$) entre las variedades. Por el contrario, el contenido de MS, FDN, PC y N-NH₃, sí presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre variedades.

Cuadro 3. Composición nutritiva del ensilaje de grano húmedo en base seca, de tres variedades de sorgo (*S. bicolor*) en la Estación Experimental Los Diamantes (EELD), Pococí, Limón, Costa Rica. 2022.

Variable	Variedad			P-Valor
	Eskameca	Centa Soberano	Centa RCY	
MS (%)	51,84 b ($\pm 1,37$)	60,35 a ($\pm 2,83$)	58,14 a ($\pm 2,43$)	0,000
PC (%)	9,09 a ($\pm 0,75$)	8,38 b ($\pm 0,57$)	7,88 b ($\pm 0,48$)	0,013
FDN (%)	11,68 b ($\pm 1,57$)	15,53 a ($\pm 2,12$)	15,29 a ($\pm 1,51$)	0,002
FDA (%)	4,93 ($\pm 1,88$)	5,84 ($\pm 0,61$)	5,13 ($\pm 0,69$)	0,413
Lignina (%)	1,41 ($\pm 0,17$)	1,25 ($\pm 0,07$)	1,30 ($\pm 0,06$)	0,088
Ceniza (%)	2,42 ($\pm 1,27$)	2,38 ($\pm 0,35$)	2,07 ($\pm 0,19$)	0,691
DIVMS (%)	91,66 ($\pm 2,29$)	88,27 ($\pm 2,29$)	89,41 ($\pm 2,30$)	0,059
EN _L (Mcal kg ⁻¹)	1,96 ($\pm 0,03$)	1,94 ($\pm 0,01$)	1,95 ($\pm 0,01$)	0,413
N-NH ₃ /NT (%)	3,57 b ($\pm 0,83$)	5,51 a ($\pm 0,44$)	5,99 a ($\pm 0,37$)	0,000
pH	4,08 ($\pm 0,08$)	4,12 ($\pm 0,15$)	4,02 ($\pm 0,03$)	0,253

MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la MS; EN_L: energía neta de lactación, N-NH₃: nitrógeno amoniacal del total de nitrógeno.

Letras diferentes en una misma fila representan diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la EEEJN el contenido de FDN, FDA, PC, ceniza, DIVMS y la EN_L del EGH no fueron diferentes ($p > 0,05$) entre las variedades. Por el contrario, el contenido de MS, lignina, N-NH₃ y el pH sí presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variedades (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición nutritiva del ensilaje de grano húmedo en base seca, de tres variedades de sorgo (*S. bicolor*) en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN), Cañas, Guanacaste, Costa Rica. 2022.

Variable	Variedad			P-Valor
	Eskameca	Centa Soberano	Centa RCY	
MS (%)	72,32 a ($\pm 0,24$)	58,50 b ($\pm 0,25$)	53,56 c ($\pm 0,92$)	0,000
PC (%)	7,17 ($\pm 1,14$)	7,49 ($\pm 1,32$)	7,82 ($\pm 2,15$)	0,782
FDN (%)	17,80 ($\pm 3,28$)	16,95 ($\pm 3,05$)	19,16 ($\pm 4,77$)	0,603
FDA (%)	3,88 ($\pm 0,70$)	3,57 ($\pm 0,42$)	4,40 ($\pm 0,72$)	0,103

Lignina (%)	0,97 b ($\pm 0,22$)	1,39 a ($\pm 0,04$)	1,54 a ($\pm 0,06$)	0,000
Ceniza (%)	2,17 ($\pm 0,78$)	2,01 ($\pm 0,35$)	1,80 ($\pm 0,49$)	0,539
DIVMS (%)	93,48 ($\pm 0,72$)	94,11 ($\pm 1,25$)	93,65 ($\pm 2,20$)	0,764
EN _L (Mcal kg ⁻¹)	1.97 ($\pm 0,01$)	1.98 ($\pm 0,01$)	1.97 ($\pm 0,01$)	0,103
N-NH ₃ /NT (%)	3,01 b ($\pm 0,17$)	3,56 ab ($\pm 0,12$)	4,11 a ($\pm 0,75$)	0,002
pH	6,30 a ($\pm 0,17$)	5,90 a ($\pm 1,17$)	4,15 b ($\pm 0,15$)	0,000

MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la MS; EN_L: energía neta de lactación; N-NH₃: nitrógeno amoniacal del total de nitrógeno.

Letras diferentes en una misma fila representan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Composición nutritiva del ensilaje de forraje remanente de sorgo (EFR)

En el Cuadro 5 se presenta la composición nutritiva del EFR después de cosechar el grano en la EELD. Se encontró que los contenidos de FDN, FDA, PC y DIVMS no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las variedades. Por el contrario, el porcentaje de MS, lignina, el N-NH₃ y el pH sí presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variedades.

Cuadro 5. Composición nutritiva del ensilaje de forraje remanente de tres variedades de sorgo (*S. bicolor*) evaluadas en la Estación Experimental Los Diamantes (EELD), Pococí, Limón, Costa Rica. 2022.

Variable	Variedad			P-Valor
	Eskameca	Centa Soberano	Centa RCY	
MS (%)	22,89 a ($\pm 1,81$)	18,31 b ($\pm 0,70$)	17,18 b ($\pm 0,74$)	0,000
PC (%)	5,87 ($\pm 0,77$)	6,12 ($\pm 0,78$)	6,05 ($\pm 0,87$)	0,858
FDN (%)	57,08 ($\pm 2,85$)	57,30 ($\pm 3,31$)	56,69 ($\pm 6,20$)	0,971
FDA (%)	34,08 ($\pm 3,56$)	34,45 ($\pm 1,93$)	33,38 ($\pm 3,26$)	0,822
Lignina (%)	3,93 b ($\pm 1,46$)	5,42 ab ($\pm 0,74$)	5,67 a ($\pm 0,78$)	0,023
Ceniza (%)	9,56 b ($\pm 0,44$)	10,03 ab ($\pm 0,27$)	10,28 a ($\pm 0,47$)	0,021
DIVMS (%)	56,74 ($\pm 6,63$)	64,16 ($\pm 3,06$)	59,62 ($\pm 5,66$)	0,083
EN _L (Mcal kg ⁻¹)	1,45 ($\pm 0,06$)	1,44 ($\pm 0,03$)	1,46 ($\pm 0,06$)	0,822
N-NH ₃ /NT (%)	7,84 ($\pm 1,65$)	8,02 ($\pm 2,97$)	7,93 ($\pm 2,41$)	0,992

pH	3,85 a ($\pm 0,01$)	3,81 b ($\pm 0,03$)	3,68 c ($\pm 0,00$)	0,000
----	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-------

MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la MS; ENL: energía neta de lactación; N-NH₃: nitrógeno amoniacal del total de nitrógeno.

Letras diferentes en una misma fila representan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Discusión

Rendimiento de forraje y grano

La variedad CENTA RCY alcanzó los mejores rendimientos de planta completa, de grano y de forraje remanente (después cosechar el grano), en ambos sitios experimentales con respecto a las otras variedades. Además, se destaca que los rendimientos de esta variedad fueron muy estables entre localidades, con variaciones que no superaron el 1 y 2% en la producción de grano y forraje remanente, respectivamente.

Por el contrario, los rendimientos de grano de las variedades Eskameca y CENTA Soberano, se redujeron en un 28 y 18% en la EELD en comparación a la EEEJN; mientras que en el mismo orden, se incrementó la producción de forraje remanente en un 59 y 25%, situación que se podría atribuir a las condiciones ambientales propias de cada sitio, ya que según Ruiz et al. (2013) y Casas (2017), el sorgo es una planta de metabolismo fotosintético C₄, la cual requiere en su etapa reproductiva y productiva abundante radiación solar, atmósferas secas y altas temperaturas (28-30 °C), condiciones que predominaron más en la localidad de Cañas en comparación a Guápiles.

Rendimiento de Planta Completa

El rendimiento de planta completa obtenido por Eskameca en este estudio fue superior al reportado por Orozco y Salazar (2014), quien obtuvo un rendimiento de 3670 kg ha⁻¹ para esta misma variedad; aunque, con una fertilización más baja y una evaluación a los 75 días. Además, la variedad CENTA Soberano y CENTA RCY alcanzaron un rendimiento superior a la mejor variedad (7580 kg ha⁻¹) del autor antes mencionado, sin embargo, se debe tener en cuenta que en el presente estudio las plantas se evaluaron en la etapa de madurez fisiológica, lo que podría favorecer el rendimiento.

Rendimiento de Grano

El rendimiento obtenido por la variedad Eskameca (3141 kg ha⁻¹) y Centa Soberano (3474 kg ha⁻¹) fue superior al de 8 de las 11 variedades evaluadas por Singh et al. (2018), la variedad Centa RCY con 3849 kg ha⁻¹ fue superior a 10 de estas variedades evaluadas por estos autores quienes obtuvieron rendimientos de entre (1590 y 4510 kg ha⁻¹). Adicionalmente el rendimiento de grano obtenido con CENTA RCY en este estudio, es comparable a las producciones (entre 4001 y 6403 kg ha⁻¹) reportados por Williams y Arcos (2015), con diferentes híbridos de sorgo sembrados a una densidad de 250 000 plantas ha⁻¹ y cosechados con un 12% de humedad en grano.

Sin embargo, el rendimiento del grano obtenido en esta investigación pudo verse afectado negativamente por la alta densidad (266 213 plantas ha⁻¹). Al respecto, Carrasco (2011), recomienda para variedades de sorgo granífero una densidad de 150 000 plantas ha⁻¹ y 6,7 kg ha⁻¹ de semilla.

Con respecto al aporte del grano sobre la producción total de biomasa, en la variedad Eskameca se observó la mayor participación del grano (51%), en comparación a las otras variedades que oscilaron entre el 31 y 37%. Diferencia que probablemente se deba a que la variedad Eskameca fue seleccionada por sus atributos para producir grano, mientras que los otros materiales, presentan cualidades productivas mixtas o de doble propósito (producción de grano y forraje).

Porcentajes de participación inferiores y semejantes (entre 14 y 31%) a los alcanzados en el presente estudio, reportan Singh et al. (2018) en una investigación realizada con diferentes cultivares de sorgo. Según Abah et al. (2020), el aporte del grano a la biomasa total es sumamente importante, ya que en el grano se concentra gran parte de los nutrientes digestibles.

Rendimiento de Forraje Remanente

El rendimiento de forraje remanente de las variedades Eskameca y CENTA Soberano (7610 y 13700 kg ha⁻¹, respectivamente) se encuentra por debajo del obtenido por Singh et al. (2018), quienes evaluaron esta variable en 11 cultivares de sorgo. La CENTA RCY estuvo por encima de uno de estos cultivares; sin embargo, esta variedad obtuvo mejor rendimiento de grano que 10 de estos cultivares. Al igual que el rendimiento de grano, el rendimiento del forraje remanente obtenido en esta investigación pudo verse afectado negativamente por la alta densidad.

Composición nutritiva del ensilaje de grano húmedo de sorgo (EGH)

Todos los EGH, independientemente de la variedad y del sitio, presentaron excelentes características organolépticas; olor agradable, escasa humedad (sin lixiviados), textura consistente y semejante al material original; particularidades deseables en un ensilaje (Kung Jr et al., 2018), aún a pesar de no haberse inoculado con ningún aditivo.

Materia Seca (MS)

En ambos sitios, los contenidos de MS del EGH fueron significativamente diferentes entre las variedades, con valores que oscilaron entre el 52 y 72%, semejantes al 60% reportado por Frank et al. (2021) con EGH. Idealmente se esperan valores de MS altos (70-75%) en el ensilaje de grano húmedo, aunque esto a su vez, repercute negativamente en la fermentación y sus productos finales; debido a que la falta de humedad impide un ambiente propicio para el desarrollo y multiplicación de microorganismo anaeróbicos en el medio, como las bacterias ácido lácticas (Ferraretto et al., 2014; Kung Jr et al., 2018).

Proteína Cruda (PC)

En la EEEJN el contenido de PC no varió significativamente entre variedades, pero en la EELD la Eskameca alcanza mayor porcentaje en comparación a la CENTA RCY y Centa Soberano. Estas variaciones entre materiales, coincide con lo reportado por Sejake et al. (2022), quienes obtuvieron también influencia del factor varietal sobre el porcentaje de proteína en el grano de sorgo.

Los valores de PC obtenidos en el presente estudio fueron similares a los reportados por García et al. (2020), quienes evaluaron el efecto del periodo de almacenamiento del ensilaje de grano húmedo sobre la composición química, obteniendo valores de hasta 9,9% de PC, 180 días después de elaborado el ensilaje.

El buen contenido de PC obtenido se podría deber a que la kafirina (proteína del grano de sorgo), la cual representa entre el 60 y 70% de la proteína total, es de naturaleza hidrófoba y por lo tanto, se disocia más fácilmente en ambientes ácidos como los del ensilaje durante la fermentación (Duodu et al., 2003); esto a su vez provoca un aumento de la digestibilidad del almidón, debido a que esta proteína lo encapsula (McCary et al., 2020; García et al., 2020).

Según Hibberd et al. (1981) y Ajakaiye (1984), un factor que podría incidir en esta variable es la fertilización nitrogenada del cultivo durante el desarrollo, inclusive elementos

como el fósforo y zinc en la fertilización podrían influir positivamente en el contenido de PC de los granos (Yu et al., 2022).

Contenido de Fibra

En la EELD, el contenido de fibra detergente neutro (FDN) del EGH de la variedad Eskameca (11,7%) fue inferior ($p < 0,05$) a las otras variedades que oscilaron entre 15,3 y 15,5%. Por el contrario, en esta misma localidad, el contenido de fibra detergente ácida (FDA) no mostró diferencias ($p > 0,05$) entre variedades, las cuales presentaron valores entre 4,9 y 5,8%.

Los valores de FDN obtenidos en el presente estudio, son similares al rango (entre 16 y 22%) reportado por García et al. (2020), quienes no encontraron diferencias significativas al evaluar ensilajes de grano húmedo de variedades de sorgo con alto y bajo contenido de taninos en diferentes periodos de almacenamiento. Con respecto al contenido de FDA, estos mismos autores reportan diferencias significativas entre variedades, al encontrar valores que oscilaron entre 5 y 9,9% de FDA.

Según el estudio de García et al. (2020), la FDA del EGH se puede ver influenciada por el tiempo de almacenamiento del ensilaje y por el contenido de taninos que contenga el grano. Adicionalmente FEDNA (2024) afirma que la fracción fibrosa del grano de sorgo es poco lignificada y está compuesta en su mayoría por hemicelulosa, pentosas y celulosa.

Lignina

El contenido de lignina fue diferente significativamente ($p < 0,05$) entre las variedades solamente en la EEEJN, siendo la variedad Eskameca la que presentó el menor porcentaje (0,97%). Según Singh et al. (2018) este factor es importante, ya que valores altos limitan la digestibilidad del material a nivel ruminal; a pesar de lo anterior, existe escasa información sobre la influencia del factor varietal sobre el contenido de lignina en el grano.

Ceniza

El contenido de cenizas osciló entre 1,80 y 2,17%, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las variedades en ninguno de los dos sitios. Los contenidos encontrados fueron superiores a los reportados por Lopes et al. (2017) (1,53-1,35%). Ferraretto et al. (2014) describieron la composición bromatológica de más de 6 000 muestras de ensilajes de grano húmedo de maíz, obteniendo una media en esta variable de 1,4 %.

Según Humer et al. (2013), la fermentación que se da durante el ensilaje puede conducir a la degradación de moléculas (como los fitatos que contienen el fósforo en las semillas), permitiendo una mayor disponibilidad de ciertos minerales incluso para monogástricos.

Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)

Los valores de DIVMS del grano ensilado no difirieron ($p > 0,05$) estadísticamente entre las variedades en ambos sitios de estudio, con valores que oscilaron entre 88,3 y 94,1%. Valores similares (89 y 91%) fueron reportados por Puntigam et al. (2021) y Lohmann et al. (2010) (87 y 90% respectivamente); el segundo al investigar el ensilaje de grano húmedo de maíz.

Saylor et al. (2020) afirman que el tamaño de la molienda del grano tiene influencia sobre la digestibilidad, aumentando considerablemente cuando el grano es finamente triturado y puede aumentar más si se le añade al ensilaje un inóculo microbiano como *Lactobacillus*. Adicionalmente, este autor y Ferraretto et al. (2014), afirman que el periodo de almacenamiento del ensilaje tiene efectos sobre la digestibilidad, ya que se logra una mayor digestibilidad sí este posee más de 28 días. Esto según McCary et al. (2020) posiblemente se deba a la disociación del complejo almidón-proteína (kafirina), que se da durante el proceso fermentativo en presencia de un ambiente ácido.

Nitrógeno amoniacal (N-NH₃)

En ambos sitios experimentales, los porcentajes de N-NH₃ obtenidos fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre las variedades. La CENTA Soberano y CENTA RCY presentaron los contenidos más altos en ambos sitios, con valores que alcanzaron el 5,51 y 5,99% en la EELD respectivamente; la variedad Eskameca por su parte alcanzó el porcentaje más bajo (3,01%) en la EEEJN. A pesar de estas diferencias, es importante resaltar, que los valores de N-NH₃ obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro del parámetro ideal ($> 10\%$) reportado por Kung Jr et al. (2018).

Adicionalmente Saylor et al. (2020) indican que el tamaño de la partícula del ensilaje de grano húmedo afecta significativamente la concentración de amoníaco; estos autores en su estudio, obtuvieron mayor concentración (5%) con un molido fino ($984 \pm 42 \mu\text{m}$) en comparación al 2,2 % cuando el triturado era grueso ($3.798 \pm 40 \mu\text{m}$).

El bajo porcentaje de N-NH₃ obtenido en el presente estudio, podría explicarse debido a los relativamente altos valores de pH obtenidos, según el estudio de Hoffman et al. (2011), existe una correlación negativa entre el pH y la concentración de N-NH₃: lo que obedece al mecanismo de solubilización de las proteínas (kafirinas) entrecruzadas con el almidón, el cual se da en condiciones ácidas. Adicionalmente, estos autores afirman que el contenido de N-NH₃ aumenta a medida que las subunidades de la matriz proteína-almidón del ensilaje de grano húmedo disminuyeron.

pH

Los valores de pH del EGH osciló entre 6,30 y 4,02, ligeramente superiores a los valores esperados, ya que según Kung Jr et al. (2018), el pH para el EGH debe estar entre 4,0 - 4,5, aunque García et al. (2020) obtuvieron cifras semejantes (4,0-5,5) a las obtenidas en el presente estudio.

Por otra parte, Kung Jr et al. (2007) afirman que el ensilaje de grano húmedo es más propenso al deterioro aeróbico respecto a otros alimentos ensilados, debido a su reducida capacidad fermentativa y alto contenido de almidón, el cual es alrededor del 70% de la MS del grano según Sang et al. (2008).

Adicionalmente, Frank et al. (2021) consideran que la fermentación puede verse más restringida en este tipo de ensilaje en comparación a los ensilajes de forraje, debido al menor contenido de humedad y azúcares solubles que posee, esto explica el alto valor de pH obtenido (6,30) con la variedad Eskameca en la EEEJN, pues fue la que obtuvo el mayor valor de MS (72,32%).

Al respecto, López y Briceño (2017) afirman que los materiales con alto contenido de almidón y bajo contenido de carbohidratos solubles (como el EGH), propician la inactivación de las amilasas bacterianas debido a la acidez del medio. Esto provoca que los almidones no sean un sustrato aprovechable para las bacterias en el proceso de ensilaje; lo que explica los valores alto de pH.

Energía neta de lactancia (EN_L)

Los valores de esta variable no fueron diferentes entre variedades en ninguno de los dos sitios, con valores que oscilaron entre 1,94 y 1,98 Mcal kg⁻¹, valor que se encuentra por encima (1,8 Mcal kg⁻¹) de la EN_L reportada por la Fundación Española para el Desarrollo

de la Nutrición Animal (FEDNA, 2024) en grano de sorgo blanco bajo en taninos con 13% de humedad.

Esta superioridad en la EN_L del EGH sobre el grano seco, se podría deber a lo afirmado por FEDNA (2024) sobre la existencia de una correlación inversa entre el contenido energético del grano de sorgo y la proporción de kafirinas, las cuales, al disociarse en el ambiente ácido del ensilaje, liberan el almidón el cual es rico en energía.

Composición nutritiva del ensilaje de forraje remanente de sorgo (EFR)

Materia Seca (MS)

El contenido de MS del EFR obtenido en el presente estudio, oscilo entre 17,2 y 22,9%, valores los cuales fueron inferiores al 54% reportado por Cai et al. (2020), quienes evaluaron el EFR en Burkina Faso. Terler et al. (2021) obtuvieron valores más cercanos (18-28%) a los obtenidos en el presente estudio, en una evaluación de forraje remanente de 6 variedades de sorgo granífero y forrajero.

Según Cai et al. (2020) y Terler et al. (2021), el contenido de humedad del forraje remanente podría verse afectado por factores como la variedad, la madurez fisiológica de las plantas y las condiciones climáticas al cosechar. Este último es especialmente importante pues determina la viabilidad, abundancia y clasificación de mohos, levaduras y bacterias ácido lácticas que participarán en proceso de fermentación del ensilaje.

Proteína Cruda (PC)

La proteína cruda osciló entre 5,87 y 6,12%, sin diferencias significativas entre las variedades. Estos valores, fueron semejantes al rango 3,68 y 6,7% reportado por Singh et al. (2018); y superior al 2,77% logrado por Cai et al. (2020). Aunque, hay que tener en cuenta, que este material al igual que otros rastrojos o forrajes remanentes de otros cereales, presenta altas concentraciones de fibra y no cumple con el mínimo requerido de proteína para el mantenimiento de rumiantes (7%), por lo que se requiere un complemento proteico para su balance nutricional en dietas (Minson, 1990).

Contenido de Fibra

Los contenidos de FDN y FDA obtenidos en el presente estudio, son ligeramente inferiores a los reportados por Oliver et al. (2005), quienes evaluaron el forraje remanente

después de cosecha del grano en variedades BMR, obteniendo valores de FDN entre 57 y 63%, y de FDA entre 33 y 37%. Similares resultados obtuvieron Singh et al. (2018) para la FDN en este mismo tipo de material, pero superiores en FDA (36 y 43%). A diferencia del presente trabajo, los autores antes mencionados, sí encontraron diferencias significativas entre las variedades con respecto al contenido de FDN y FDA.

La melaza añadida al EFR podría explicar la superioridad de algunos parámetros nutricionales ante los de otros autores, pues según Luo et al. (2021) y Xia et al. (2018) la melaza propicia un ambiente de mayor desarrollo de bacterias ácido lácticas, mayor digestión de las células vegetales durante el proceso de ensilaje, debido a la hidrólisis ácida de células vegetales por condiciones de menor pH y mejor conservación del material en general.

Lignina

Esta variable fue afectada por el factor varietal ($p < 0,05$), siendo Eskameca la variedad que presentó el inferior contenido (3,93) y CENTA RCY el valor superior (5,67); Cai et al. (2020) reportó contenidos superiores (6,30%) a los obtenidos en el presente estudio; además reporta una diferencia de 0.01% entre el EFR y el forraje remanente fresco, lo que indica una poca o nula incidencia de la fermentación sobre esta variable.

En forraje remanente fresco de sorgo Singh et al. (2018) obtuvieron valores de entre 4,3-5,79%, a diferencia de Terler et al. (2021) quienes reportan valores un poco por arriba (4,4-6,1%) en diferentes variedades. Estos dos últimos autores al igual que en la presente investigación vieron afectada esta variable por el factor varietal, el cual posee mayor importancia que el proceso de ensilaje en el contenido de lignina.

Ceniza

El contenido de ceniza osciló entre 9,56 y 10,28%, con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades; similar a Terler et al. (2021) quienes reportaron valores semejantes (entre 6,7 y 10,1%). Estos mismos autores, también analizaron la composición de ceniza en planta completa de sorgo, obteniendo valores inferiores (entre 6,5 y 8,5%).

Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)

Los valores obtenidos oscilaron entre 56 y 64%, siendo la variedad Eskameca la que alcanzó el valor inferior y la CENTA Soberano el superior. Estos valores fueron superiores

a los obtenidos por Singh et al. (2018) y Oliver et al. (2005), quienes obtuvieron valores que fluctuaron entre 59 y 54%.

Los mayores porcentajes de DIVMS obtenidos en el presente estudio en comparación a otras investigaciones, podría atribuirse a la adición de melaza, la cual propicia la aparición de bacterias ácido lácticas y digestión de células vegetales (Xia et al., 2018; Luo et al., 2021). Sin embargo, la digestibilidad de este material es relativamente baja si se compara con etapas más juveniles de la planta, debido al avance en la lignificación de las paredes celulares a medida que avanza la madurez de las plantas (Terler et al., 2021).

Nitrógeno amoniacal (N-NH₃)

El contenido de N-NH₃, osciló entre 7,84 y 8,02%, sin diferencias significativas entre variedades. Aunque Cai et al. (2020), obtuvieron valores inferiores (5,46%) al utilizar inóculo microbiano en el mismo tipo de material, pues en el tratamiento control (sin inóculo) obtuvieron valores semejantes (7,68%) a los de este trabajo.

A pesar de que este material obtuvo valores dentro del rango esperado (8-12%) para ensilajes de forraje según Kung Jr et al. (2018), son valores algo elevados para un material al que se le añadió melaza (carbohidratos solubles), pues se esperaría que por el bajo pH obtenido, la concentración de N-NH₃ deberían ser bajas (López y Briceño., 2017).

pH

En esta investigación se obtuvieron valores de pH que oscilaron entre 3,68 y 3,85. Cai et al. (2020) encontraron valores de pH ligeramente superiores (4,20) a los obtenidos en el presente estudio, esto en ensilajes de forraje remanente inoculados con microorganismos. Este mismo autor menciona que el alto valor obtenido, se debe posiblemente al contenido de humedad, pues afirma que este fue un factor limitante y es fundamental en la fermentación de ácidos y en la proliferación de microorganismos anaeróbicos.

El valor de esta variable se pudo ver favorecido por la melaza, ya que según López y Briceño (2017), el valor de pH se ve disminuido cuando se añade melaza, debido a que aporta un alto contenido de azúcares solubles, los cuales funcionan como sustrato para las bacterias ácido lácticas, aumentando la producción del ácido láctico en el silo.

Energía neta de lactancia (EN_L)

Los valores obtenidos para esta variable en el EFR, fueron ligeramente superiores al valor (1,33 Mcal kg⁻¹) obtenido por Singh et al. (2018), lo cual está relacionado con el contenido de FDA, ya que fue a partir de este factor que se determinó la EN_L.

Los valores de EN_L obtenidos en esta investigación fueron semejantes a los obtenidos por Mancipe et al. (2022) en el forraje de maíz sin grano; sin embargo, estos mismos autores lograron un incremento hasta de 1,66 Mcal kg⁻¹, al añadir el 100% de la mazorca.

Conclusiones

El CENTA RCY fue la variedad que presentó la mayor producción de grano, forraje remanente y planta completa en ambos sitios de evaluación.

El ensilaje de grano húmedo de sorgo es un material de excelente calidad fermentativa, con alta digestibilidad de la materia seca, valores bajos de fibras y nitrógeno amoniacal.

El ensilaje de forraje remanente de sorgo es un material fibroso que no cumple con el mínimo requerido de proteína, aunque sí presenta buenas características en cuanto a nitrógeno amoniacal y pH las cuales se pudieron ver favorecidas por la adición de melaza.

Referencias

- Abah, C. R., Ishiwu, C. N., Obiegbuna, J. E., & Oladejo, A. A. (2020). Sorghum grains: nutritional composition, functional properties and its food applications. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 12 (5), 101-111. 10.9734/EJNFS/2020/v12i530232
- Adams, R. S. (1994). Regression equations for estimating energy values of various feeds. In V. Ishler (Ed.), *From feed to milk: Understanding rumen function* (Extension circular No. 422, pp. 14–27). Pennsylvania State University.

- AJAKAIYE, C. O. (1984). Changes in sorghum grain protein content with maturity at four levels of nitrogen. *Canadian journal of plant science*, 64(4), 797-804. <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjps84-111>
- Álvarez, L. (2019). *Aportes de aminoácidos (AA) de forrajes de piso sobre los requerimientos de vacas lecheras en producción* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/16598>
- Association of Official Analytical Chemist. (1998). *Official methods of analysis of AOAC International* (16th ed., 4th rev.). AOAC International.
- Cai, Y., Du, Z., Jethro, D. B., Nignan, M., & Yamasaki, S. (2020). Analysis of main factors affecting silage fermentation of sorghum prepared with whole crop and stover in semiarid West Africa. *African Journal of Range & Forage Science*, 38 (2), 169-178. [10.2989/10220119.2020.1794959](https://doi.org/10.2989/10220119.2020.1794959)
- Calvo, O. M. (2021). Estimación del costo de producción de un kilogramo de leche y sus variables más influyentes. *Agronegocios*, 7(2), 44–62. <http://doi.org/10.18845/ea.v7i2.5682>
- Carrasco, N., Zamora, M., y Melin, A. (2011). *Manual de sorgo*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. http://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_manual_de_sorgo_renglon_191.pdf
- Casas, N. (2017). *Crop Weather and Climate Vulnerability Profiles*. Concern Worldwide. https://admin.concern.net/sites/default/files/media/migrated/crop_weather_and_climate_vulnerability_profiles_.pdf
- CNPL (Cámara Nacional de Productores de Leche). (2014). *Situación Actual y Perspectivas del Sector Lácteo Costarricense Visión de la Cámara Nacional de Productores de Leche*. 20º Congreso Nacional Lechero 2013. http://proleche.com/recursos/documentos/congreso2014/Situacion_actual_y_perspectivas_del_sector_lacteo_nacional_Vision_de_la_Camara_Nacional_de_Productores_de_Leche._Ing._Jose_Antonio_Madriz_Carrillo,_Presidente_CNPL.pdf
- Duodu, K. G., Taylor, J. R. N., Belton, P. S., & Hamaker, B. R. (2003). Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal of cereal science*, 38 (2), 117-131. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00016-X)

- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). (2024). *Sorgo blanco (bajo en taninos < 0,4%)*. https://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/sorgo-blanco-bajo-en-taninos
- Ferraretto, L. F., Taysom, K., Taysom, D. M., Shaver, R. D., & Hoffman, P. C. (2014). Relationships between dry matter content, ensiling, ammonia-nitrogen, and ruminal *in vitro* starch digestibility in high-moisture corn samples. *Journal of dairy science*, 97(5), 3221-3227. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7680>
- Fontanetto, H., y Keller, O. (2020). *Fertilización en sorgo*. Profertil. <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/fertilizacion-en-sorgo.pdf>
- Frank, R., Abbado, M., Fernandes, T., Schöne, R., Sanches de Avila, A., Hagdon, E., Rohloff, N., Kaufmann, C., Polese, C., Potenza, F., Silva, G., Kohler, T., Souza, C., Costa, N., Guimarães, A., & Vianna, R. (2021). High-moisture corn grain silage inoculated with *Propionibacterium acidipropionici* and *Lactobacillus plantarum* in different storage times. *Research, Society and Development*, 10 (1),1-11. <http://doi.org.10.33448/rsd-v10i1.10371>.
- García, C., Bettucci, L., Brambillasca, S., & Cajarville, C. (2020). Storage time and condensed tannin content of high-moisture sorghum grains: Effects on *in vitro* fermentation and mold populations. *Animal Nutrition*, 6(1), 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.08.002>
- Getachew, G., Putnam, D., De Ben, C., & De Peters, E. (2016). Potential of Sorghum as an Alternative to Corn Forage. *American Journal of Plant Sciences*, 7 (7), 1106-1121. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=66619>
- Goering, H.K., & Van Soest, P.J. (1970). Forage fiber analysis: (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications). United States Department of Agriculture Agricultural Research.
- Hibberd, C. A., Weibel, D. E., Wagner, D. G., & Hintz, R. L. (1981). The effect of additional nitrogen fertilization on the nutritive value of grain sorghum. *Animal Science Research Reports*. https://extension.okstate.edu/programs/beef-extension/research-reports/site-files/documents/1981/rr81_45.pdf

- Hoffman, P. C., Esser, N. M., Shaver, R. D., Coblenz, W. K., Scott, M. P., Bodnar, A. L., ... & Charley, R. C. (2011). Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of dairy science*, *94*(5), 2465-2474. [10.3168/jds.2010-3562](https://doi.org/10.3168/jds.2010-3562)
- Hossain, M. S., Islam, M. N., Rahman, M. M., Mostofa, M. G., & Khan, M. A. R. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, *8*. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>
- Humer, E., Wetscherek, W., Schwarz, C., & Schedle, K. (2013). Effect of maize conservation technique and phytase supplementation on total tract apparent digestibility of phosphorus, calcium, ash, dry matter, organic matter and crude protein in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, *185* (2), 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.07.001>
- Kung Jr, L., Schmidt, R. J., Ebling, T. E., & Hu, W. (2007). The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of ground and whole high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*, *90* (5), 2309-2314. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-713>
- 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>
- Lohmann, A. C., Pozza, P. C., Nunes, R. V., Pozza, M. S. S., Venturi, I., & Pasquetti, T. J. (2010). Digestibility of high moisture corn grain silage with different particle size for swines. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, *62*, 154-162.
- Lopes, A. B. R. de C., Tse, M. L. P., Silva, A. M. R. da ., Trindade Neto, M. A. da ., Pereira, C. S., Saleh, M. A. D., & Berto, D. A.. (2017). High-moisture sorghum grain silage with low- and high-tannin contents for weanling piglets. *Ciência Rural*, *47* (4), e20151255. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151255>
- López-Herrera, M., y Briceño-Arguedas, E. (2017). Efecto de la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos en la calidad física y química de mezclas para ensilaje. *Nutrición animal tropical*, *11* (1), 52-73. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/29605/29545>

- 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), 355. <https://doi.org/10.3390/ani11020355>
- Mancipe-Muñoz, E. A., Castillo-Sierra, J., Vargas-Martínez, J. de J., & Avellaneda-Avellaneda, Y. (2022). Compositional quality of the silage of three cultivars of corn (*Zea mays*) from the Colombian high tropics. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), 46412. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46412>
- McCary, C. L., Vyas, D., Faciola, A. P., & Ferraretto, L. F. (2020). Graduate Student Literature Review: Current perspectives on whole-plant sorghum silage production and utilization by lactating dairy cows. *Journal of dairy Science*, 103 (6), 5783-5790. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18122>
- Minson, D. 1990. *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press. 10.1016/B978-0-12-498310-6.50025-0
- Montero, S. (2017). *Consumo y Calidad Nutricional De La Dieta Ofrecida Al Hato Caprino De La Finca Experimental Santa Lucia* [Proyecto de pregrado]. Universidad Nacional, Costa Rica. [https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/14191/PROYECTO DE GRADUACION SHARON MONTERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/14191/PROYECTO_DE_GRADUACION_SHARON_MONTERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Oliver, A. L., Pedersen, J. F., Grant, R. J., Klopfenstein, T. J., & Jose, H. D. (2005). Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 genes: II. Grain yield, stover yield, and stover quality in grain sorghum. *Crop Science*, 45 (6), 2240-2245. doi:10.2135/cropsci2004.0660
- [Orozco, E., y Salazar, V. \(2014\). Evaluación de sorgos para alimentación bovina en el pacífico central de costa rica. *Alcances tecnológicos*, 10 \(1\), 5-12. \[http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/14/2\]\(http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/14/2\)](http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/14/2)
- Puntigam, R., Slama, J., Brugger, D., Leitner, K., Schedle, K., Wetscherek-Seipelt, G., & Wetscherek, W. (2021). Fermentation of Whole Grain Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) with Different Dry Matter Concentrations: Effect on the Apparent Total Tract Digestibility of Energy, Crude Nutrients and Minerals in Growing Pigs. *Animals*, 11 (5), 1199. <https://doi.org/10.3390/ani11051199>

- Reyes, N., Mendieta, B., Fariñas, T., Mena, M., Cardona, J., y Pezo, D. (2009). *Elaboración y utilización de ensilajes en la alimentación del ganado bovino*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7886/173.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Roig, C. (1989). Evaluación preliminar de 200 accesiones de leguminosas forrajeras tropicales en el ecosistema de Bosque Tropical Lluvioso en Costa Rica [Tesis de maestría]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5081>
- Ruiz, J., Medina, G., González, I., Flores, H., Ramírez, G., Ortiz, C., Byerly, K. y Martínez, R. (2013). *Requerimientos Agroecológicos de Cultivos*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Ruiz-Corral/publication/343047223_REQUERIMIENTOS_AGROECOLOGICOS_DE_CULTIVOS_2da_Edicion/links/5f1310e04585151299a4c447/REQUERIMIENTOS-AGROECOLOGICOS-DE-CULTIVOS-2da-Edicion.pdf
- Salvador, H., Hernández, M., Ayala, J., Guzmán, R., Borja, C., Alvarado, M., y Calderón, V. (2012). *Guía técnica de sorgo (Sorghum bicolor, L. Moench)*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. El Salvador.
- Sang, Y., Bean, S., Seib, P. A., Pedersen, J., & Shi, Y. C. (2008). Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56 (15), 6680-6685. <https://doi.org/10.1021/jf800577x>
- Saylor, B. A., Casale, F., Sultana, H. & Ferraretto, L. F. (2020). Effect of microbial inoculation and particle size on fermentation profile, aerobic stability, and ruminal in situ starch degradation of high-moisture corn ensiled for a short period. *Journal of Dairy Science*, 103 (1), 379–395. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16831>
- Sejake, T., Shargie, N., Figlan, S., Mofokeng, A., Tsilo, T.J. (2022). Phenotypic variation of Sorghum accessions for Grain Yield and quality traits. *Agronomy*, 12 (3089). <https://doi.org/10.3390/agronomy12123089>
- Singh, S., Bhat, B. V., Shukla, G. P., Singh, K., & Gehrana, D. (2018). Variation in carbohydrate and protein fractions, energy, digestibility and mineral concentrations

- in stover of sorghum cultivars. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 6 (1), 42-52.
[https://doi.org/10.17138/tqft\(6\)42-52](https://doi.org/10.17138/tqft(6)42-52)
- Terler, G., Resch, R., Gappmaier, S., & Gruber, L. (2021). Nutritive value for ruminants of different fresh and ensiled sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties harvested at varying maturity stages. *Archives of Animal Nutrition*, 75 (3), 167-182.
<https://doi.org/10.1080/1745039X.2021.1924016>
- Tobia, C., A. Rojas, E. Villalobos, H. Soto, y L. Uribe. (2004). Sustitución parcial del alimento balanceado por ensilaje de soya y su efecto en la producción y calidad de la leche de vaca, en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28 (2):27-35.
- Toledo, J., Schultze-Kraft, R. (1982). Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: Toledo, J. (Ed.), Manual para la evaluación agronómica: Red internacional de evaluación de pastos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), (Serie CIAT 07sG-1 (82), pp. 91-110).
- Valerín, J. (2020). *Informe situacional granos basicos 2012-2019: frijol-maiz*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E16-11088.pdf>
- Williams-Alanís, H., & Arcos-Cavazos, G. (2015). Agronomic performance of hybrids and parents of grain sorghum in Huastecas. *Agronomía Mesoamericana*, 26 (1), 87–97.
<https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16926>
- Xia, C., Liang, Y., Bai, S., He, Y., Muhammad, A. U. R., Su, H., & Cao, B. (2018). Effects of harvest time and added molasses on nutritional content, ensiling characteristics and *in vitro* degradation of whole crop wheat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31 (3), 354. 10.5713/ajas.17.0542
- Yu, B. G., Chen, X. X., Zhou, C. X., Ding, T. B., Wang, Z. H., & Zou, C. Q. (2022). Nutritional composition of maize grain associated with phosphorus and zinc fertilization. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, 104775.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157522003933>