

Efecto del estadio de desarrollo y tamaño de partícula de picado sobre la composición química del ensilaje de Sorgo Sureño

**Maikel Joel Sánchez Peña
César Emilio Zeledón Chavarria**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2019**

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Efecto del estadio de desarrollo y tamaño de partícula de picado sobre la composición química del ensilaje de Sorgo Sureño

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

Maikel Joel Sánchez Peña
César Emilio Zeledón Chavarria

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2019

Efecto del estadio de desarrollo y tamaño de partícula de picado sobre la composición química del ensilaje de Sorgo Sureño.

Maikel Joel Sánchez Peña
César Emilio Zeledón Chavarria

Resumen. El ensilaje permite preservar características químicas de los forrajes destinados para consumo de alimento bovino. El presente estudio evaluó la composición química del ensilaje de sorgo, variedad sureño, utilizando tres tamaños de picado; con partículas de 2, 5.5 y 9 mm, obtenidas con una máquina forrajera quebradora de grano Pecus-Duo sobre tres estadios de desarrollo del cultivo; E7, E8 y E9. La investigación se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, en el lote ocho de San Nicolás. Se estableció un diseño experimental de bloques completamente al azar (BCA) con arreglo factorial 3×3 ; que representan las tres etapas fenológicas y tres tamaños de partícula, con tres bloques y un área total de 658 m². Los análisis químicos fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ), se determinó el contenido de Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Fibra Neutro-Detergente (FND), Fibra Ácido-Detergente (FAD), Energía Neta de Lactancia (ENL), Cenizas totales (CZ) y Nutrientes Digeribles Totales (NDT). Los resultados determinaron que existe una correlación positiva entre el contenido de humedad de la planta y del ensilaje. Se demostró que el estadio fenológico tuvo un efecto significativo en todas las variables estudiadas, mientras que el tamaño de partícula influyó solamente en las variables de FAD, CZ y NDT. Las variables de PC y FND fueron afectadas por la interacción de ambos factores, en cual la interacción del estadio 9 con el tamaño de partícula 2 mm presentó valores deseados en ambas variables.

Palabras clave: Correlación, forraje, influencia, interacción.

Abstract. A Silage allows preserving chemical components of forages supplied as a source of bovine food. The present study evaluated the chemical composition of sorghum silage southern variety, using three chopped particle sizes: 2, 5.5 and 9 mm, according to the grain forage crushing machine Pecus-Duo over three stages of crop development. The investigation took place in the Pan-American Agricultural School Zamorano, located in the eight lot of San Nicolas; an experimental design of completely randomized blocks (CRB) was established, with a factorial arrangement 3×3 according to three phenological stages and three particle sizes, establishing three blocks in a space of 657.92 m². The chemical analysis were performed in the Zamorano Food Analysis Laboratory (LAAZ), determining the Dry Matter content (DM), Crude Protein (CP), Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), Net Energy of Lactation (NEL), Total Ashes (TA) and Total Digestible Nutrients (TDN). The studies establish a positive correlation between the plant moisture content and silage. The phenological stage had a significant effect in all the variables studied, meanwhile, the particle size only influenced ADF, TA and TDN variables. The interaction of both factors affected the CP and NDF variables, in which the phenological stage 9 and the 2 mm particle size presented desired values in both variables.

Key words: Correlation, forage, influence, interaction.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figura y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
4. CONCLUSIONES.....	12
5. RECOMENDACIONES.....	13
6. LITERATURA CITADA.....	14
7. ANEXOS.....	16

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Correlación de estadio fenológico, humedad de planta y humedad de silo.....	6
2. Efecto de estadios fenológicos y tamaño de partículas en Proteína Cruda.....	7
3. Aporte de Proteína Cruda en base a Materia Fresca.....	7
4. Efecto de estadios fenológicos y tamaño de partículas en Fibra Neutro Detergente.....	8
5. Variables de composición química del ensilaje de sorgo según su tamaño de partícula.....	9
6. Efectos de variables de composición química del ensilaje de sorgo según su estadio fenológico.....	10
Figura	Página
1. Rendimientos en parcelas experimentales según estadio fenológico de cosecha.....	6
Anexos	Página
1. Tratamientos evaluados al cultivo de sorgo.....	16
2. Distribución espacial del cultivo de sorgo en campo.....	16
3. Estadios fenológicos del cultivo de Sorgo.....	17
4. Máquina forrajera Pecu-Duo.....	17
5. Elaboración de micro ensilajes.....	17
6. Muestra de tratamiento.....	18
7. Digestor de proteínas.....	18
8. Muestras de FND.....	18
9. Muestras de Cenizas.....	18

1. INTRODUCCIÓN

El sorgo es un grano básico de los más cultivados alrededor del mundo, es el quinto grano de mayor importancia a nivel mundial (FAO 1997), después del maíz, arroz, trigo y avena. En el período de 2015/2016, la producción mundial de sorgo para grano fue de 60.2 millones de toneladas, sin embargo, en el período siguiente, la producción presentó una reducción a 57.6 millones de toneladas. Esta disminución en la producción mundial, se debió principalmente a una reducción en la superficie cultivada a nivel mundial, pasando de 45.2 a 40.6 millones de hectáreas (FAO 2017). En Centroamérica, la producción regional del cultivo, alcanzó 5.1 millones de toneladas.

El sorgo es un cultivo de la familia Poaceae, su altura oscila entre uno a tres metros, caracterizado por una inflorescencia o panoja grande, erguida o colgante. Por ser una planta C4, el sorgo es capaz de adaptarse a zonas de clima cálido, con alta eficiencia en producción de materia seca, la cual suele aumentar a medida que aumenta la altura de la planta. Asimismo, el estado de crecimiento de la planta afecta la producción de materia seca (Pereira 2007). El sorgo presenta menores exigencias hídricas, caracterizado por una eficiencia destacable de los recursos hídricos, el cual en comparación con el cultivo de maíz requiere hasta un 40% menos de la demanda hídrica por unidad de materia seca acumulada. (Pereira *et al.* 2018). De acuerdo a FIRA (2016), un 30% de la producción mundial de sorgo es destinada al consumo animal, como forraje, dicho consumo crece anualmente a una tasa de 2.5%, mientras que el consumo industrial y humano disminuye.

La ganadería es un rubro de importancia que estima la principal fuente de ingreso de alrededor de 200 millones de familias productoras en Asia, África y América (FAO 2013). La conservación de forrajes es una práctica utilizada por los productores ganaderos, la cual permite conservar alimento bovino en tiempos de escasez de pasturas y evitar reducciones en la productividad de las explotaciones ganaderas (Sniffen *et al.* 1992). El ensilaje presenta grandes beneficios para la producción ganadera, ya que permite suplir parte importante de los requerimientos nutricionales de un bovino (Ocando *et al.* 2014).

El método de ensilaje consiste en llevar a cabo una fermentación de los carbohidratos hidrosolubles presentes en el contenido nutricional de los forrajes, la fermentación es realizada por medio de bacterias ácido lácticas en condiciones anaeróbicas (Garcés 2004). El oxígeno es un elemento perjudicial debido que habilita la proliferación de microorganismos no deseados como descomponedores de tejidos, por lo cual, las condiciones anaeróbicas en la elaboración de ensilajes son requeridas para la fermentación, para permitir la acidificación del medio y evitar el crecimiento de microorganismos aeróbicos. La fermentación permite mantener la composición química de los forrajes por mayor tiempo.

El proceso de fermentación de un ensilaje presenta cuatro fases. La primera fase consiste de una etapa aeróbica de corta duración caracterizada por la remoción del oxígeno atmosférico presente en el material vegetal. El oxígeno es removido por la respiración de microorganismos aeróbicos como levaduras y enterobacterias, las cuales son eliminadas al acabarse el oxígeno, así mismo, actividades enzimáticas vegetales contribuyen al proceso. La segunda fase es la fermentación anaeróbica. En esta fase las bacterias ácido lácticas de géneros como *Lactobacillus* y *Streptococcus*, producen ácido láctico como resultado de la fermentación láctica de los carbohidratos hidrosolubles, lo que reduce el pH del material a rangos de 3.8 a 5.0, aumentan la temperatura en rangos de 25 a 40 °C; la fase puede durar varias semanas. La tercera fase se caracteriza porque los microorganismos anaeróbicos que proliferaron durante la segunda fase, se reducen gradualmente al completar la fermentación del material. Por último, la cuarta fase es un deterioro aerobio, lo cual ocurre cuando los ensilajes son abiertos o expuestos al aire (Garcés 2004).

Los estadíos más adecuados para realizar ensilaje de sorgo son: E7, E8 y E9 (Anexo 3). El estadío 7 es la edad mínima recomendada para elaborar un ensilaje, en la cual el grano está blando y al apretarlo suele tener una consistencia pastosa, los granos acumulan hasta la mitad de su peso final. El estadío 8 es caracterizado porque el grano ha acumulado hasta un 75% de su peso, se puede quebrar y tendrá una consistencia dura o masoso. El estadío 9 es la madurez fisiológica del grano de sorgo, en cual el grano ha acumulado el máximo de su peso, caracterizada por la aparición del punto de abscisión.

La etapa fenológica en la cual se realiza la cosecha de la materia prima para el ensilaje es un factor determinante para la calidad del proceso de fermentación, suele presentar cambios en la acumulación de nutrientes y por ende, en la composición química final del ensilaje de sorgo sureño (Baudino 2013). El picado del material vegetal busca un tamaño fino y homogéneo, que permita una adecuada compactación y exclusión del oxígeno, esto depende del contenido de materia seca, tamaño de picado y precisión del compactado.

En Honduras existe una falta de estudios de referencia para ensilajes de sorgo sureño que guíen a los productores ganaderos a ser eficientes en cuanto la producción y disponibilidad de alimentos de alta calidad para el ganado. Anteriormente se han realizado estudios con respecto al ensilaje de maíz (Martínez 2017), pero no de ensilajes de sorgo. Por dichas razones, es importante realizar análisis químicos que permitan precisar la etapa fenológica y tamaños de partículas cuya interacción logra aprovechar la mayor composición química posible.

Objetivo:

Determinar el efecto del tamaño de partícula y estadío de desarrollo en la composición química del ensilaje de sorgo de la variedad sureño, identificar la o las variables que fueron mayormente afectadas por efecto simple de los estadíos de desarrollo y tamaño de partícula.

2. METODOLOGÍA

Fases del Estudio.

El estudio se realizó entre el período de abril a septiembre del año 2019. Precisando dos fases, la primera consistió en el establecimiento del cultivo, ubicándose en el lote ocho de San Nicolás perteneciente a la Escuela Agrícola Panamericana (Departamento de Francisco Morazán, Honduras), ubicado en una altitud de 800 msnm, presentando una temperatura promedio anual de 26 °C y una precipitación promedio anual de 1100 mm. La segunda fase se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano “LAAZ”, lugar en cual fueron realizados los análisis de composición química de los tratamientos.

Primera fase: Desarrollo del cultivo.

Se estableció un lote del cultivo de sorgo variedad sureño, el suelo fue preparado adecuadamente antes de la siembra definido por un arreglo espacial y se contó con el establecimiento un sistema de riego por goteo.

Se utilizaron densidades de 125,000 plantas por hectárea, dadas un distanciamiento de 0.8 m entre surcos y 0.1 m entre plantas, se establecieron cuatro surcos por parcela, los dos surcos del medio fueron utilizados para la elaboración de los tratamientos; se contó con aproximadamente diez plantas por metro lineal, para un total aproximado de 300 plantas por unidad experimental. Se dispuso de un plan para el desarrollo del cultivo contando con planes de fertilización, riego y un plan de manejo de plagas dependiendo de las necesidades presentadas en el manejo del cultivo.

Las parcelas experimentales tuvieron un largo de 15 m por un ancho de 3.2 m, proporcionando un área de 48 m². El espacio requerido para establecer los bloques experimentales fue de 432 m², a esta cantidad se debe de agregar 6.4 m de largo pertenecientes a los caminos y bordes del diseño y tres metros de ancho por efecto de segmentaciones de las parcelas experimentales, concibiendo un área total de 51.4 m de largo por 12.8 m de ancho, lo que equivale a 657.92 m² (0.065792 ha).

Arreglo espacial.

El arreglo espacial constó del establecimiento de tres bloques con nueve parcelas experimentales, las que contuvieron aleatoriamente los nueve tratamientos del experimento (Anexo 1), para un total de 27 unidades experimentales; las unidades experimentales interaccionaron cada una según el estadio fenológico de cosecha (E7, E8, E9) y el tamaño de partícula de la máquina forrajera (2 mm, 5.5 mm, y 9 mm).

Cosecha y picado del material vegetal.

Las cosechas de las unidades experimentales se realizaron de acuerdo a los estadios fenológicos evaluados, empezando a los 85 días en la floración del cultivo (ensayos de E7), 94 días (ensayos de E8) y concluyeron a los 106 días en la madurez fisiológica del cultivo (ensayos de E9).

Al finalizar la cosecha, se procedió a picar el material vegetal para reducir el tamaño de las partículas para conseguir una mejor remoción de oxígeno. El material vegetal fue picado según calibres de 2 mm, 5.5 mm y 9 mm con la máquina forrajera de quebradora de grano Pecu-duo. Al concluir este paso, se procedió a la elaboración de los micro ensilajes.

Elaboración del ensilaje y almacenamiento de muestras.

Para la elaboración de los tratamientos de micro ensilajes se utilizó como estructura bolsas de PVC de alta densidad, para evitar la entrada de oxígeno y mantener condiciones anaeróbicas requeridas por las bacterias en la fermentación del material vegetal. Se elaboraron micro silos de 30 kg por unidad experimental, el material previamente picado se guardó en estas bolsas inoculando gradualmente el producto encargado de llevar a cabo la fermentación microbiana Sil-All[®], simultáneamente, se realizó la compactación del material vegetal para cerciorar la remoción total del oxígeno. Los micro silos fueron fermentados y almacenados durante un período de 28 días.

Evaluación de variables agronómicas en cosecha.

Entre las variables agronómicas, se determinaron el rendimiento de las parcelas en cosecha y contenido de humedad de planta en cosecha, con el propósito de determinar la proporción de materia fresca y materia seca que se obtuvo por cada estadio fenológico, dicha cantidad es la que es realmente fermentada por las bacterias anaeróbicas ácido lácticas y finalmente destinada para el consumo animal.

Para determinar las variables agronómicas, se procedió a cosechar las parcelas experimentales, se utilizó una báscula digital para realizar la medición de peso promedio por parcela en los estadios fenológicos, después de obtener los rendimientos, se realizó la selección al azar de tres plantas por parcela, posteriormente las plantas fueron trasladadas al "LAAZ". Se tomaron muestras homogéneas de tres gramos por planta, las cuales fueron utilizadas para llevar a cabo la determinación de porcentaje de humedad por secado en horno de convección por 18 horas a 102 °C (AOAC 950.46).

Segunda fase: Evaluación de la composición química de los tratamientos.

Posterior al período de fermentación del ensilaje (28 días), se recolectaron muestras de un kilogramo en cada unidad experimental, las cuales fueron procesadas por análisis químicos proximales en el "LAAZ", lo que permitió avanzar a los análisis de propiedades nutricionales de los tratamientos.

Variables de composición química:

- Materia Seca del ensilaje (MS).
- Fibra ácido detergente (FAD).
- Fibra neutro detergente (FND).

- Proteína cruda (PC).
- Cenizas totales (CZ).
- Energía neta de lactancia (ENL).
- Nutrientes digeribles totales (NDT).

El análisis químico proximal se realizó mediante métodos de referencia específicos utilizados para evaluar contenido de MS (AOAC 950.46), FAD (AOAC 973.18), FND (AOAC 2002.04), PC (AOAC 2001.11) y CZ (AOAC 923.03).

La ENL y NDT no fueron determinados químicamente, se contó con fórmulas matemáticas basadas en los resultados de FAD, las cuales permitieron estimar los resultados de ambas variables mediante las ecuaciones de forrajes de grano pequeño de Pennsylvania State University (Undersander *et al.* 1993).

Diseño Experimental.

Se evaluó la interacción de tres estadíos fenológicos y el tamaño de partícula de picado del material vegetal, el diseño experimental consistió de un establecimiento de Bloques Completamente al Azar (BCA) con un arreglo factorial 3×3 , de dos factores: estadío fenológico de cosecha y tamaño de partícula de picado del material vegetal, nueve tratamientos (Cuadro 1) con tres repeticiones para un total de 27 unidades experimentales. El análisis estadístico empleó un Análisis de Varianza (ANDEVA) y separación de medias por las pruebas Duncan y LS Means, auxiliándose de software estadístico “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.4).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de parámetros de campo presentadas en el Cuadro 1 estableció que, al evaluar la correlación del estadio fenológico y el porcentaje de humedad de la planta en cosecha, se presentó una correlación negativa hacia los estadios fenológicos, indicando que a medida progresó la madurez del cultivo, se redujo el contenido de humedad en la planta.

Cuadro 1. Correlación de estadio fenológico, humedad de planta y humedad de ensilaje de Sorgo Sureño.

	Estadio	Humedad (Planta)	Humedad (Ensilaje)
Estadio	1.0000	-0.9963	-0.8987
Humedad (Planta)	-0.9963	1.0000	0.9331
Humedad (Silo)	-0.8987	0.9331	1.0000

Esta correlación se ve reflejada en la Figura 1, en cual se establece los rendimientos de cosecha en Materia Fresca de las parcelas experimentales, cada una con tres repeticiones y aproximadamente 300 plantas cada una, en el E7 se obtuvo un rendimiento promedio de 133 kg, en las parcelas experimentales del E8 se obtuvo un rendimiento promedio de 126 kg y en las parcelas experimentales del E9 se obtuvo un rendimiento promedio de 113 kg.

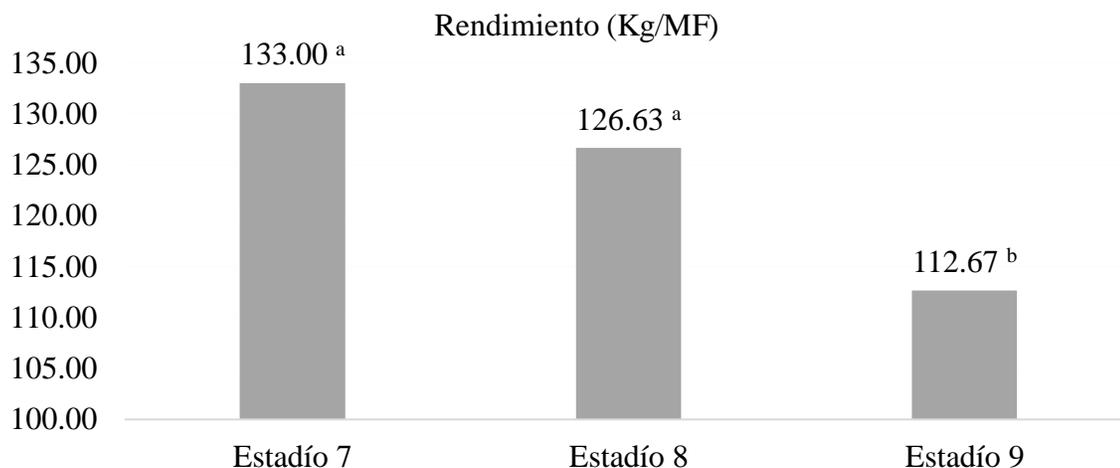


Figura 1. Rendimientos en parcelas experimentales según estadio fenológico de cosecha. ^{a-b}: Letras diferentes indican separación estadística por rendimientos de parcelas ($P \leq 0.05$).

La diferencia existente es explicada por la pérdida del contenido de humedad que las plantas experimentan al avanzar sus estadios hasta llegar a su madurez fisiológica, en cual, las plantas del estadio 7 ostentaron un 72.75%, las plantas del estadio 8 un 68.71% y las plantas del estadio 9 un 65.72% de humedad a cosecha.

En la correlación entre la humedad de la planta y la humedad del ensilaje (Cuadro 1), se encontró un resultado positivo, lo cual indica que, a ciertos porcentajes de humedad al cosechar el material vegetal, se obtuvieron resultados más elevados en el contenido de humedad al finalizar el proceso de ensilaje, presumiendo la influencia de la adición del inoculante microbiológico Sil-All® diluido en agua, utilizado para acelerar el proceso de fermentación del material vegetal.

Cuadro 2. Efecto de estadios fenológicos y tamaño de partículas en Proteína Cruda de ensilaje de Sorgo Sureño.

Estadio	Partícula 2 mm	Partícula 5.5 mm	Partícula 9 mm
Estadio 7	7.69 ^{Ax}	7.67 ^{Ax}	7.20 ^{Ax}
Estadio 8	5.90 ^{Bz}	5.97 ^{By}	6.60 ^{Ay}
Estadio 9	7.08 ^{Ay}	6.10 ^{By}	6.53 ^{By}
R ²	0.88		
Co. Variación	4.2		

*Variable evaluada: Proteína Cruda (PC).

^{A-B}: Letras en columna indican separación estadística por estadios fenológicos.

^{x-z}: Letras en fila indican separación estadística por tamaños de partícula.

Los resultados de la interacción entre dos factores evaluados indicaron que las variables de PC y FND son las únicas que exhibieron diferencias significativas ante la interacción de estadios fenológicos y tamaños de partículas de picado, con una P>F de 0.0011 y 0.0044, respectivamente.

El Cuadro 2 muestra el efecto de la interacción de los factores evaluados en la composición final de PC en base a MS. Al interaccionar el estadio 7 con los tres tamaños de partículas, se expresaron contenidos más elevados de PC en comparación a los demás resultados. Las interacciones señaladas anteriormente presentaron valores superiores en comparación a la aseveración de Ojeda *et al.* (1997), quienes determinaron que los forrajes de calidad no deben oscilar porcentajes de PC menores a 7%. Al interaccionar el estadio 9 con tamaño de partícula 2 mm se obtuvo un valor de 7.08%, el cual también cumple con la aseveración de Ojeda.

Cuadro 3. Aporte de Proteína Cruda de ensilajes de Sorgo Sureño con base en el consumo de Materia Fresca.

Estadío	MF (g)	MS (%)	Aporte MS (g)	Tamaño de Partícula		
				2 mm	5.5 mm	9 mm
Proteína Cruda (g)						
7	1000	23.39%	233.9	17.98 ^{Bx}	17.95 ^{Ax}	16.85 ^{Bx}
8	1000	27.91%	279.1	16.47 ^{Cy}	16.67 ^{Ay}	18.44 ^{Ax}
9	1000	28.29%	282.9	20.02 ^{Ax}	17.25 ^{Ay}	18.48 ^{Ay}

* Variables: Materia Fresca (MF), Materia Seca (MS)

A-B-C: Letras en columna indican separación estadística por estadíos fenológicos.

x-y: Letras en fila indican separación estadística por tamaños de partícula.

El Cuadro 3 muestra los aportes de proteína cruda con base en el consumo de ensilaje en materia fresca. Al presentar una oferta estandarizada de MF (1 kg) multiplicada por su porcentaje de Materia Seca según el estadío fenológico de cosecha y los porcentajes de PC con base en MS presentados en el Cuadro 2, se demostrará el total de PC en gramos aportada en un kilogramo de ensilaje de sorgo sureño. Estadísticamente hubo diferencias entre los aportes de los factores evaluados, se demuestra que la interacción del estadío fenológico 9 con el tamaño de partícula 2 mm presentará el mayor aporte de PC, dicha interacción obtuvo un porcentaje apropiado de PC según Ojeda.

Cuadro 4. Efecto de estadíos fenológicos y tamaño de partículas en Fibra Neutro-Detergente de ensilajes de Sorgo Sureño.

Estadío	Partícula 2 mm	Partícula 5.5 mm	Partícula 9 mm
Estadío 7	49.60 ^{Ax}	45.59 ^{Ay}	50.87 ^{Ax}
Estadío 8	46.64 ^{Ax}	45.21 ^{Bx}	45.51 ^{Bx}
Estadío 9	42.14 ^{By}	46.39 ^{Ax}	43.05 ^{Bx}
R ²	0.74		
Co. Variación	4.03		

*Variable evaluada: Fibra Neutro-Detergente (FND).

A-B: Letras en columna indican separación estadística por estadíos fenológicos.

x-z: Letras en fila indican separación estadística por tamaños de partícula.

Según un artículo de Van-Saun (2013), aseveró que los forrajes de alta calidad en gramíneas deben presentar valores de FND menores a 50%. El Cuadro 4 reflejó el efecto de la interacción de los factores en la composición final de FND, en el cual se observa que estadísticamente el estadío 7 con los tamaños de partícula 2 y 9 mm no presentaron diferencias significativas y poseen los contenidos de FND más altos. Exceptuando el

estadio 7 con tamaño de partícula 9 mm, se encontró que la mayoría de las interacciones presentaron valores que cumplen la aseveración de Van Saun (2013). Oba *et al.* (1999), señalaron que proveer dietas con altos contenidos de FND limita el consumo del forraje debido a una sensación de llenado en el rumen y Holland *et al.* (1995) resaltaron que el contenido de FND y el consumo del bovino son inversamente proporcionales, motivos por los que se estima que el estadio 9 con el tamaño de partícula 2 mm ostentan valores deseables tanto en FND como en PC.

Cuadro 5. Variables de composición química del ensilaje de Sorgo Sureño según su tamaño de partícula.

Partícula (mm)	FAD (%)	CZ (%)	NDT (%)
2	35.27 ^{ab}	2.04 ^a	65.27 ^{ab}
5.5	36.60 ^a	2.01 ^{ab}	64.85 ^b
9	34.20 ^b	1.92 ^b	65.59 ^a
R ²	0.88	0.78	0.88
Valor de P	0.03	0.03	0.03
Co. Variación	5.06	4.55	0.85

*Variables evaluadas: Fibra Ácido-Detergente (FAD), Cenizas Totales (CZ) y Nutrientes Digeribles Totales (NDT).

^{a-b}: Letras indican separación estadística por tamaños de partícula.

Los resultados de la composición química manifestaron que el efecto del tamaño de partículas en picado solo es estadísticamente significativo en cuanto a las variables de FAD, CZ y NDT, con una P>F de 0.0350, 0.0344 y 0.0361, respectivamente.

En cuanto los resultados de contenidos de FAD, destacó que estadísticamente el tamaño de partícula 5.5 mm presentó diferencias significativas con el tamaño de partícula 9 mm, el último obtuvo el valor más bajo con 34.2%. Van Saun (2013) también ratificó que un forraje de alta calidad en gramíneas debe ostentar valores de FAD menores a 35%, por lo cual los resultados anteriores estipulan que el tamaño de partícula de 9 mm es el único que presentó valores aceptables de FAD según Van Saun.

Los resultados de contenidos de CZ indicaron que estadísticamente existen diferencias significativas entre los tamaños de partículas 2 mm y 9 mm, el primero alcanzó el valor más elevado con 2.04%. Un estudio de ensilajes de Gil y Bernal (2000) acentuó que el contenido de CZ es concerniente a la composición mineral del ensilaje, los cuales deben ser inferiores a un 12%, debido que de sobrepasar esta concentración se corresponde a contaminaciones del ensilaje con partículas de suelo.

Los resultados del contenido de NDT indicaron que estadísticamente solo existen diferencias significativas entre los tamaños de partícula 9 mm y 5.5 mm, el primero obtuvo el valor más alto alcanzando un 65.59%. Aminah *et al.* (2001) estudiaron los ensilajes de sorgo, cosechados a 75 días durante la floración del cultivo o estadio 6, en cual destacaron una menor proporción de NDT con 60.1%, dicho valor es inferior en comparación a los resultados obtenidos en los tres tamaños de partículas ensayados el presente estudio.

Cuadro 6. Efectos de variables de composición química del ensilaje de Sorgo Sureño según su estadio fenológico.

Estadio	MS (%)	FAD (%)	CZ (%)	ENL (Mcal/Kg)	NDT (%)
7	23.39 ^b	40.28 ^a	2.14 ^a	1.44 ^c	63.72 ^c
8	27.91 ^a	34.69 ^b	1.84 ^c	1.48 ^b	65.44 ^b
9	28.29 ^a	31.10 ^c	1.99 ^b	1.51 ^a	66.55 ^a
R ²	0.78	0.88	0.78	0.86	0.88
Valor de P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Co. Variación	6.19	5.06	4.55	0.99	0.85

*Variables evaluadas: Materia Seca (MS), Fibra Ácido-Detergente (FAD), Cenizas Totales (CZ), Energía Neta de Lactancia (ENL) y Nutrientes Digeribles Totales (NDT).

^{a-c}: Letras indican separación estadística por estadios fenológicos.

Los resultados de composición química manifestaron que estadísticamente todas las variables son significativamente influenciadas por el efecto de los estadios fenológicos evaluados con una P>F de <0.001 en su totalidad (Cuadro 6).

La variable de MS no presentó diferencias significativas entre los estadios 8 y 9, sin embargo, si hubo diferencias significativas hacia el estadio 7, el cual obtuvo el valor más bajo con 23.39%. Bastiman *et al.* (1985) estimaron que un ensilaje con un contenido de MS menor a 25% aumenta considerablemente las pérdidas de nutrientes hidrosolubles por lixiviados del material vegetal, y una MS superior a 29% oprime por completo estas pérdidas.

De acuerdo a Paiva (1976), el contenido de MS de un ensilaje dependerá directamente del material vegetal utilizado, resaltando que un ensilaje de buena calidad debe oscilar rangos de MS entre 30 y 35%, dicho estudio nos indica que ningún estadio fenológico del cultivo de sorgo sureño ostentó de los rangos ideales, sin embargo, de acuerdo a Bastiman *et al.* (1985), los estadios 8 y 9 presentaron porcentajes que oprimen las pérdidas por lixiviación en comparación al estadio 7, el cual presentará susceptibilidad ante tal evento.

Los valores de FAD hacen referencia sobre la acumulación de lignina y celulosa del ensilaje, el cual sirve como un indicador de la capacidad de rumia en bovinos. Los resultados del presente estudio demostraron que estadísticamente, existen diferencias

significativas entre todos los estadíos evaluados, siendo el estadío 7 cual obtuvo el valor más elevado oscilando un 40.28%, disminuyendo progresivamente en el estadío 8 a 34.69% y en el estadío 9 con 31.10%. En un estudio realizado en Zamorano, Diaz (2011) indicó que los ensilajes de sorgo sureño cosechados a 95 días presentan valores de FAD de 32.81%, dichos valores son similares a los resultados obtenidos en el presente estudio de los estadíos 8 y 9. De misma manera, de acuerdo a Van Saun (2013) el efecto de los estadíos 8 y 9 obtuvieron valores óptimos de FAD en ensilajes de sorgo sureño, siendo el estadío 9 un valor más adecuado.

Los resultados de CZ presentaron diferencias significativas entre todos los estadíos, siendo el estadío 7 cual consiguió el contenido más alto en comparación a los demás estadíos, alcanzando un 2.14%, sin embargo, el estudio de ensilajes de sorgo mencionado anteriormente de Aminah *et al.* (2001), determinaron que a 75 días de cosecha se encontraron valores de CZ de 4.2%, valores los cuales son superiores a los expuestos en el presente estudio.

Los resultados de ENL indicaron estadísticamente diferencias significativas entre todos los estadíos, siendo el estadío 9 el que consiguió el contenido más elevado con 1.51 Mcal/kg MS. Los resultados obtenidos alcanzaron valores superiores en comparación a Pigurina (1992), quien estudió ensilajes de sorgo forrajero y estipuló que su composición de ENL ronda 1.1 Mcal/kg MS. No obstante, Jiménez *et al.* (2009) reportaron el contenido de ENL del ensilaje de maíz cosechado a 85 días, exhibiendo un valor promedio de 1.45 Mcal/Kg MS. Estos valores son consistentes con los obtenidos en el presente estudio, sin embargo, se demuestra el efecto del estadío 9 del sorgo sureño, el cual oscila valores superiores a los reportados por Pigurina (1992) y Jiménez *et al.* (2009).

Estadísticamente, los resultados del contenido de NDT indicaron diferencias significativas entre todos los estadíos evaluados, siendo el estadío 9 el cual obtuvo el valor más alto con 66.55%. Mencionado anteriormente, Jiménez *et al.* (2009) destacaron valores de 63.87% de NDT en ensilajes de maíz cosechados a 85 días, consistentes a los valores obtenidos por el efecto del estadío 7 en ensilajes de sorgo sureño. La información obtenida en el presente estudio apunta que a mayor sea el estadío de cosecha, se encontrarán valores más altos de NDT en los ensilajes de sorgo sureño.

4. CONCLUSIONES

- La interacción de los estadios fenológicos y tamaños de partículas fue significativa únicamente en las variables de PC y FND. La interacción del estadio fenológico 9 y el tamaño de partícula 2 mm fue el tratamiento que obtuvo una composición química deseada.
- El efecto de los estadios fenológicos demostró influencias en todas las variables, obteniendo resultados deseados de MS en los estadios 8 y 9, CZ en el estadio 7, FAD, ENL y NDT en el estadio 9. El tamaño de partícula 9 mm es el más adecuado para FAD y NDT, y el tamaño de partícula 2 mm para CZ.

5. RECOMENDACIONES

- Implementar los resultados del estudio como referencia para los productores a la hora de planificar la alimentación de rumiantes según su conveniencia.
- Evaluar el pH residual de los tratamientos, para determinar posibles efectos en la fermentación.
- Evaluar los efectos de los diferentes tamaños de partículas en dietas para bovinos para encontrar su influencia en parámetros productivos.

6. LITERATURA CITADA

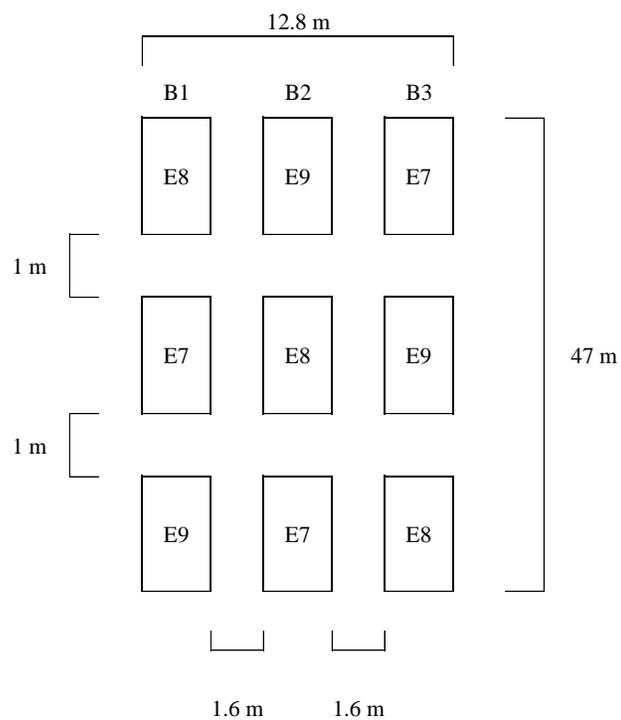
- Aminah A, Bakar C, Izham A. 2001. Ensilajes de forrajes tropicales. Calidad nutritiva y producción de leche. Estudio FAO producción y protección vegetal. 161.
- Bastiman B, Altman F. 1985. Losses at various stages in silagemaking. Agricultural research and development. 2:19–25.
- Baudino J. 2013. Sorgo: Cómo lograr reservas de calidad y utilizar este recurso ventajosamente. Manual de forrajes conservado. 19–221.
- Diaz D. 2011. Evaluación comparativa de sorgo nervadura café (Pampa Centurión) y sorgo nervadura blanca (Sureño) para la producción de ensilaje. Francisco Morazán, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana: Zamorano.
- FAO. 1997. La economía del sorgo y del mijo en el mundo: hechos, tendencias y perspectivas. Food & Agriculture Org.
- FAO. 2013. Ganadería sostenible y cambio climático. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- FAO. 2017. FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/faostat/en/>.
- FIRA. 2016. Sorgo 2016. Panorama Agroalimentario. 5–6. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200640/Panorama_Agroalimentario_Sorgo_2016.pdf.
- Garcés M. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. Revista LaSallista de investigación. 66–71. <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/179/1/066-71%20Ensilaje%20como%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20para%20el%20ganado.pdf>.
- Gil H, Bernal J. 2000. El ensilaje en la alimentación del ganado vacuno.
- Holland C, Kezar W, Quade Z. 1995. The pioneer forage manual. Des Moines, Iowa, U.S.A: Pioneer Hi bred International, Inc.

- Jiménez M, Borurillón A, Wing R. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna (*Vigna radiata*). *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*. 33(1):133–146.
- Martinez D. 2017. Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado. San Antonio de oriente, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana: Zamorano.
- Oba M, Allen M. 1999. Evaluation of the Importance of the Digestibility of Neutral Detergent Fiber from Forage. Effects on Dry Matter Intake and Milk Yield of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*.
- Ocando G, Acevedo I, García O. 2014. Evaluación de las características fisicoquímicas y funcionales del ensilaje de Maíz (*Zea mays*) y ensilaje de Sorgo (*Sorghum vulgare*). Estado Lara, Venezuela: Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.
- Ojeda F, Cáceres O, Luís L, Esperance M. 1997. Ensilajes de Forrajes Tropicales. Simposio Internacional Sur de Alimentación de Rumiantes en Trópico Húmedo. 17.
- Paiva J. 1976. Qualidade de silagem da região metalúrgica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brazil: Escola de Veterinária, UFMG.
- Pereira L. 2007. Consideraciones sobre ensilajes de sorgo. Bahía Blanca, Argentina: Universidad Nacional del Sur.
- Pereira S, Diaz N, Piñeiro J. 2018. El sorgo como alternativa forrajera al cultivo de maíz. *Revista Vaca Pinta*. (5):1–8.
- Pigurina G. 1992. Características de ensilajes en establecimientos lecheros. Colonia, Uruguay: Instituto nacional de investigación agropecuaria La Estanzuela.
- Sniffen C, O'Connor J, van Soest P. 1992. A Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets: II. Carbohydrate and Protein Availability [*Journal of Animal Science*]. Ithaca, Nueva York: Cornell University.
- Undersander D, Mertens D, Thiex N. 1993. Forages Analyses Procedures. The National Forage Testing Association. 118.
- Vanderlip R. 1979. How a sorgum plant develops. Manhattan, KS: Kansas State University.
- Van-Saun r. 2013. Determining forage quality: understanding feed analysis. Pennstate extension

7. ANEXOS

Anexo 1. Tratamientos evaluados al cultivo de sorgo

Tratamiento	Estadío fenológico	Tamaño de partícula
T1	E7	2 mm
T2	E7	5.5 mm
T3	E7	9 mm
T4	E8	2 mm
T5	E8	5.5 mm
T6	E8	9 mm
T7	E9	2 mm
T8	E9	5.5 mm
T9	E9	9 mm



Anexo 2. Distribución espacial del cultivo de sorgo en campo.

Anexo 3. Estadíos fenológicos del cultivo de Sorgo.

Etapas vegetativas		Etapas Reproductivas	
Etapa 0	Emergencia	Etapa 5	Arranque
Etapa 1	Tres hojas	Etapa 6	Floración
Etapa 2	Cinco hojas	Etapa 7	Grano lechoso
Etapa 3	Diferenciación (DPC)	Etapa 8	Grano masoso
Etapa 4	Hoja bandera visible	Etapa 9	Madurez Fisiológica

Fuente: Vanderlip (1979).

Anexo 4. Maquina forrajera Pecu-Duo.



Anexo 5. Elaboración de micro ensilajes.



Anexo 6. Muestra de tratamiento.



Anexo 7. Digestor de proteínas.



Anexo 8. Muestras de FND.



Anexo 9. Muestras de Cenizas Totales.

