

Comparación de tres tipos de ensilaje (maíz, sorgo, y caña de azúcar) en la producción de leche: Revisión de literatura

Jonatan Humberto Torres Posadas

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Comparación de tres tipos de ensilaje (maíz, sorgo, y caña de azúcar) en la producción de leche: Revisión de literatura

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

Presentado por

Jonatan Humberto Torres Posadas


Zamorano, Honduras
Noviembre, 2020

Comparación de tres tipos de ensilaje (maíz, sorgo, y caña de azúcar) en la producción de leche: Revisión de literatura

Presentado por:

Jonatan Humberto Torres Posadas

Aprobado:


Marielena Moncada (Nov 5, 2020 09:58 CST)

Marielena Moncada, Ph.D.
Asesora Principal



Rogel Castillo, M.Sc.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria


Angel Augusto Suazo Ramirez (Nov 5, 2020 10:43 CST)

Angel Augusto Suazo, M.A.E
Asesor



Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico

Comparación de tres tipos de ensilaje (maíz, sorgo, y caña de azúcar) en la producción de leche: Revisión de literatura

Jonatan Humberto Torres Posadas

Resumen. La ganadería en el trópico se ve afectada principalmente en la época de verano. Durante este periodo de tiempo la producción de leche baja debido a la poca disponibilidad de pasto en los potreros. Existen técnicas de conservación de forrajes como el ensilaje, que permiten mantener una producción de leche durante todo el año. El objetivo de la investigación fue determinar el ensilaje que aportará la mejor composición nutricional, mejor efecto en la producción de leche, costo de producción y rendimiento. Dentro de los ensilajes investigados están el ensilaje de maíz, sorgo y caña de azúcar. Para cada ensilaje se realizó una descripción del cultivo, momento óptimo de corte, tamaño de partícula de picado, aditivos utilizados, porcentaje de nutrientes, producción de leche, rendimiento (t/ha). Para el costo de producción se utilizaron valores obtenidos de investigaciones de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. El ensilaje de maíz presentó la mejor composición nutricional, así como la mayor producción de leche (34.3 kg/vaca/día). El ensilaje de caña presentó el mayor rendimiento en t/MS/ha, así como el menor costo de producción.

Palabras clave: Aditivo, conservación de forraje, ganadería de leche, nutriente, rendimiento.

Abstract. Livestock farming in the tropics is mainly affected in the summer season. During this period, milk production decrease, due to the low availability of pasture in the paddocks. There are forage conservation techniques such as silage, which allow the maintenance of good milk production, throughout the year. The objective of this research was to determine which silage provides the best nutritional composition, best effect on milk production, production cost and yield. Among the silages investigated are corn, sorghum, and sugar cane silage. For each silage it was made a description of the crop, optimal cutting time, chopped particle size, additives used, percentage of nutrients, milk production and yield (t/ha). For the production costs, there were used values obtained from research done by the Pan-American Agricultural School, Zamorano, Honduras. Corn silage presented the best nutritional composition, as well as the highest milk production (34.3 kg/cow/day). Cane silage presented the highest yield in t/DM/ha, as well as the lowest production cost.

Key words: Additive, dairy farming, forage conservation, nutrient, yield.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. IMPORTANCIA DE CONSERVACIÓN DE FORRAJES	2
3. ANÁLISIS EN EL PROCESO DE ENSILAJE.....	4
4. ADITIVOS MÁS UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE ENSILAJES.....	6
5. UTILIZACIÓN DE ENSILADOS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE	7
6. COMPARACIÓN DE LOS TRES ENSILAJES (MAÍZ, SORGO, Y CAÑA DE AZUCAR)	14
7. CONCLUSIONES.....	16
8. RECOMENDACIONES.....	17
9. LITERATURA CITADA	18

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Efecto de los estadios reproductivos en el ensilaje de maíz en las variables de materia seca (MS), proteína (PB), almidón, fibra ácido detergente (FAD), fibra detergente neutro (FDN)	8
2. Composición nutricional del ensilaje de maíz.....	9
3. Composición nutricional del ensilaje de sorgo	11
4. Composición nutricional del ensilaje de caña de azúcar.....	13
5. Comparación del rendimiento de los cultivos en t/MS/ha	14
6. Comparación nutricional de los tres ensilajes (maíz, sorgo sureño y caña de azúcar).....	14
7. Comparación del efecto de la inclusión de cada ensilaje en la producción de leche en kg/vaca/días.....	15
8. Comparación del costo por tonelada para los ensilajes de maíz, sorgo, y caña de azúcar	15

1. INTRODUCCIÓN

La demanda mundial de leche aumenta año tras año debido al crecimiento de densidad poblacional a nivel mundial (OCDE 2018). Esta demanda de alimentos lácteos esta soportada por la producción de leche de diferentes entidades a nivel mundial. Según (FIRA 2019) entre el periodo 2008-2018 la producción de leche a nivel mundial creció un 1.4% anualmente lo que representa 505.2 millones de toneladas. Según Masis y Morales (2017) este aumento de producción es sostenida por el crecimiento del consumo per cápita de productos lácteos principalmente en países desarrollados. Para mantener una producción de leche estable durante todo el año es necesario proporcionarles todos los requerimientos nutricionales a los animales. Sin embargo, en países donde las temporadas lluviosa y seca dura seis meses cada una, la oferta de alimento para los animales se vuelve una limitante para una producción constante. Para afrontar este problema, según Pérez (2017), en fincas ganaderas se destinan áreas para la producción de forrajes que pueden suplementarse en aquellas épocas de escasez de pasto, este forraje puede suplementarse de forma fresca o como un alimento conservado.

Existen diversas formas de conservar el forraje, y una de las técnicas más utilizadas es el ensilado. Según Solís (2017), el ensilaje es una forma de almacenar alimentos en estaciones donde hay exceso de forrajes y suplementarlos en tiempo de escasez. Este método de conservación aporta una buena palatabilidad al alimento y conserva los nutrientes de la materia verde, todo esto a un costo razonable a comparación de otras estrategias de alimentación. El ensilaje es una de las técnicas de conservación de forraje más eficientes que hay, ya que puede conservar entre un 80-90% de su calidad nutritiva (Martínez Turcios 2017).

Existe una gran cantidad de forrajes que se pueden ensilar, y cada uno tiene diferentes valores nutricionales, costos de producción y un impacto diferente en la producción de leche. Esto suele suponer un problema ya que no se sabe qué cultivo será mejor para una explotación ganadera, además existen dudas del costo-beneficio de incluir un ensilaje de algún forraje en especial y el efecto que puede significar en la producción de leche. Debido a esta necesidad de información, se ha consultado diferentes fuentes para elaborar la siguiente investigación donde se describen y comparan tres ensilajes provenientes de tres cultivos (maíz, sorgo, caña de azúcar) seleccionados debido a la popularidad de su uso en la ganadería de leche. El objetivo de la investigación fue evaluar tres tipos de ensilaje (maíz, sorgo, y caña de azúcar) para determinar el ensilaje con los mayores rendimientos en campo, mejor composición nutricional, mejor efecto en la producción de leche y menor costo de producción.

2. IMPORTANCIA DE CONSERVACIÓN DE FORRAJES

La principal necesidad de conservar forrajes es el hecho de poder suplementar el alimento en aquellos meses donde el crecimiento de los pastos es limitado por las estaciones del año. De esta manera se puede suplementar la misma cantidad de alimento durante todo el año, y a la vez mantener los nutrientes en el forraje conservado. Sin embargo, el uso de ensilaje no solamente se utiliza durante la época seca, sino que puede suplementarse durante todo el año realizando un buen plan de conservación de forraje que garantice un flujo continuo de alimento de muy buena calidad. El ensilaje es una excelente forma de suplementar el ganado con un alto contenido de materia seca, buen contenido nutricional, digestibilidad y un costo razonable. Sin embargo, estas características dependen netamente de la composición nutricional del forraje como su materia seca, azúcares solubles y proteína bruta (Martínez *et al.* 2014). Además de la composición nutricional, es importante el cultivo seleccionado y los procesos aplicados al mismo.

Ensilaje

El ensilaje según Martínez *et al.* (2014) es un proceso de conservación de forraje producido mediante la fermentación anaerobia de forraje verde donde se obtiene niveles de acidez altos, impidiendo la proliferación de microorganismos perjudiciales. Según Callejo (2018) el silo durante sus procesos físico-químicos pasa por varias fases que se han dividido en cuatro importantes:

Fase aeróbica. Esta fase inicia una vez el forraje ha sido segado, compactado y hermetizado. La prolongación de esta etapa dependerá de los procedimientos y características con que fue ensilado el forraje, pero se estima que normalmente dura entre 1-3 días. Durante este proceso suceden dos procesos que no son deseables para el ensilaje que son la respiración y la proteólisis, ya que en ambas se pierde cierta cantidad de materia seca; en la proteólisis específicamente las enzimas degradan el nitrógeno del material vegetal, por lo que ya no puede ser utilizado por el animal (Callejo 2018).

Fase de fermentación. Dentro de todos los tipos de fermentaciones que suceden a lo largo del proceso de ensilado la más importante es la fermentación láctica, pues es la que producirá las cantidades deseables de ácido láctico en el forraje. Los microorganismos responsables de esta fermentación suelen pertenecer a los géneros de *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus* y *Streptococcus*; estas bacterias son aerobias facultativas, pero con un mejor desarrollo en condiciones anaerobias; la acción de estas bacterias bajará el pH en valores de 3.8 a 5 (Garcés Molina *et al.* 2004). Si no se disminuyen los valores de pH y condiciones anaerobias, entonces, comenzarán a surgir microorganismos que producirán fermentaciones acéticas como la *E. coli* o microorganismos con fermentaciones butíricas como del género *Clostridium* (Callejo 2018). Tanto en la fermentación butírica como en la acética, se pierde notablemente el valor nitrogenado, materia seca, toxicidad o pueden significar una competencia para las bacterias lácticas.

Fase de estabilidad. Sucede cuando el pH es inferior o igual a 4, entonces el crecimiento de todas las bacterias es detenido y el silo puede permanecer así durante meses (Callejo 2018). Esta es la fase del proceso de ensilaje que más se puede alargar ya que dependerá directamente del momento en que se quiera utilizar el ensilaje.

Fase de utilización. Sucede cuando el silo se comienza a utilizar para la alimentación y se debe usar lo más rápido posible ya que las bacterias aerobias vuelven a surgir por estar en contacto con el oxígeno.

3. ANÁLISIS EN EL PROCESO DE ENSILAJE

Durante el proceso de ensilaje, es necesario garantizar la calidad tanto del forraje que es sometido al ensilado, como del producto final. Para garantizar una calidad óptima, se realizan diversos análisis para evaluar las características de interés del alimento.

Análisis antes de ensilar

Antes de realizar el ensilaje, es necesario tomar diferentes análisis en el forraje verde, para determinar si el material cumple con parámetros óptimos establecidos que garanticen una buena fermentación.

Materia seca del material a ensilar. La materia seca del forraje antes de ser ensilado es uno de los indicadores más importantes para decidir ensilar o no un forraje. Este indicador representa el porcentaje de materia del forraje sin tomar en cuenta el porcentaje de agua. Según Martínez *et al* (2014) un porcentaje ideal de materia seca para cosecha esta entre un 34.4 y 35.6%.

Azúcares solubles (AS). Son la principal fuente de energía para los microorganismos durante el proceso de ensilaje, un buen forraje debe contener de 6-12% de carbohidratos solubles para asegurar una correcta fermentación (Alaniz Villanueva 2008).

Análisis después del ensilado

Luego del proceso de ensilado, es importante analizar el ensilaje para determinar la calidad del material y poder realizar una buena formulación del alimento.

Análisis de pH. Su valor depende de la composición de proteínas, azúcares del forraje, con unos valores inferiores a 4.2 se ha logrado obtener estabilidad fermentativa durante el proceso de ensilaje (Valencia Ramírez 2016).

Materia seca (MS). La materia seca también es un parámetro importante a evaluar después del proceso de ensilaje, al comparar la MS antes y después de ensilar puede proporcionar un estimado de la MS perdida durante el proceso de ensilaje. Se considera un ensilaje de alta calidad cuando su porcentaje de MS es igual o superior a 35% (Rodríguez Martínez 2014).

Proteína bruta (PB). Es uno de los elementos nutricionales más importantes en la producción de leche. El contenido de proteína es determinado normalmente con el método Kjeldhal, en este método se mide la cantidad de nitrógeno que poseen las proteínas; para la obtención del valor de la proteína bruta o cruda normalmente se multiplica la cantidad de nitrógeno por un factor que suele ser de 6.25 (González Moreno 2015).

Fibra neutro detergente (FND). La FND representa las cantidades de celulosa, hemicelulosa y lignina que son parte de la pared celular de las plantas (Rodríguez Martínez 2014). Cuando mayor sea el contenido de FND menor será la ingestión del alimento por el animal.

Fibra ácido detergente (FAD). Permite determinar las fracciones o cantidades de lignocelulosa además de la sílice en el alimento (Maruelli 2017) Este tipo de fibra está vinculado directamente con la digestibilidad del alimento, entre mayor sea la cantidad de fibra ácido detergente menor será la digestibilidad del alimento por el animal.

Almidón (ALM). Es un polisacárido de reserva en las plantas con un alto valor energético en la dieta animal. Además de ser una fuente de energía para el animal, también son una fuente de energía esencial para los microorganismos responsables de la fermentación ácido-láctica.

4. ADITIVOS MÁS UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE ENSILAJES

Melaza

La melaza es un aditivo muy utilizado ya que cuenta con un contenido energético muy alto. La dosis aplicar es de 20-40 kg de melaza por tonelada de forraje fresco (Lara Muñoz 2011). Es un aditivo muy importante cuando se utilizan forrajes con poca cantidad de carbohidratos, al ser una fuente de energía útil para los microorganismos encargados de las fermentaciones.

Inoculantes

Los inoculantes bacterianos tienen cultivos de bacterias que pueden dominar las fermentaciones en el ensilaje (Espinoza Guerra *et al.* 2015). La adición de este tipo de bacterias permite mejorar la eficiencia en la producción de ácido láctico y mejorar los valores de pH. Según Demanet Filippi (2017), el uso de bacterias como *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus buchneri* aumentan la producción de ácido láctico hasta 2-3 veces más, la bacteria *L. plantarum* actúa como una colonizadora en el ensilaje que inicia los procesos fermentativos y *L. buchneri* permanece en el ensilaje hasta el final por su resistencia a altos niveles de acidez.

Enzimas

Degradan la fibra y azúcares del forraje, pueden contener una variedad de enzimas para cada compuesto de la planta, sin embargo, su funcionamiento es limitado cuando el contenido de humedad del forraje es menor al 55% (Lara Muñoz 2011). Entre las enzimas utilizadas, las de tipo fibrolíticas que mejoran la digestibilidad del ensilaje mejorando valores de FDA y FND (Palma Parodi y Landi 2012). Por otra parte, existen las enzimas proteasas que degradan los compuestos nitrogenados de la pared celular lo que permite una mejor degradación del alimento cuando sea ingerido por el animal (Colombatto y Beauchemin 2014).

Urea

Es utilizado para incrementar la proteína cruda del ensilaje cuando los forrajes son deficientes de este nutriente, además, la adición de este aditivo no afecta la digestibilidad del ensilaje (Rodríguez Chacón *et al.* 2014). Además, la adición de urea en el proceso de ensilaje puede disminuir el pH del ensilaje lo que permite una mejor estabilidad en la fermentación (Rezende *et al.* 2007).

Sal común

Según Martínez *et al.* (2014) la adición de sal común puede reducir el crecimiento de hongos, levaduras en el ensilaje. Además, puede utilizarse como un sellador en la parte superior del silo, la dosis a aplicar es de 4 kg/m² (Lara Muñoz 2011).

5. UTILIZACIÓN DE ENSILADOS EN PRODUCCIÓN DE LECHE

Ensilaje de maíz

El ensilaje de maíz es un alimento de mucha importancia en la dieta de vacas lecheras por ser un alimento con un buen valor nutricional y una buena producción del cultivo en el trópico.

Características agronómicas. La planta de maíz (*Zea mays*) es una planta herbácea anual, con raíces fasciculadas que le dan anclaje a la planta, posee tallo robusto, es una planta monoica, con su parte masculina en la parte superior conocida como panoja e inflorescencias femeninas pistiladas ubicadas es las yemas laterales (Gaucha Abarca 2014). La característica principal para determinar el corte del cultivo es el estado lechoso del grano que se puede observar en campo tomando varias muestras en el cultivo, sin embargo, los estadios fenológicos de la planta también son un indicador importante y que se toma en cuenta para el corte de la planta.

Proceso de ensilaje de maíz. La primera actividad para realizar el ensilado es el corte de la planta, este puede ser a diferentes alturas del suelo, la altura de corte parece afectar el rendimiento del forraje medido en materia fresca/ha. Según Elizondo Salazar (2011), la altura de corte tiene un importante efecto en el rendimiento total del cultivo, una altura de 15 cm presentara mejores rendimientos (11 t/MS/ha) que si se corta a una altura de 45 cm (10.4 t/MS/ha). Sin embargo, a menor altura de corte de la planta la calidad del alimento disminuye debido a la gran cantidad de fibra cerca del tallo de la planta (Wu y Ruth 2017).

Los rendimientos y estado nutricional de los forrajes varían mucho dependiendo de las variedades utilizadas, fertilización, riego. Según Zaragoza Esparta *et al.* (2019) encontraron un rendimiento promedio de 24 t/MS/ha, al analizar doce variedades de maíz. Sin embargo, se han podido ver rendimientos inferiores en otras variedades utilizadas. Según Elizondo Guzmán (2013) encontró un rendimiento máximo de 21.54 t/ha de MS.

Según Ordoñez González (2015) cuando el cultivo se corta con un 1/2 de grano lechoso a 95 días se obtiene un 19.5% de MS y cuando el cultivo se corta con un 1/4 de grano lechoso a 115 días se obtiene 15.2% de MS. Por lo tanto, al cortarlo a 1/2 de MS obtendremos porcentajes mayores de MS, lo que se representara mejor calidad en el proceso metabólico durante el ensilado. Sin embargo, esta edad de corte es muy variable con cada variedad que sea cultivada. En variedades de maíz híbrido como Asgrow-7573 el tiempo óptimo de corte es de 123-127 días después de siembra, ya que con este tiempo se pueden obtener desde 34-43.4% de MS (Leyva Jiménez *et al.* 2016).

Además de comparar el estado lechoso existen otras características a tomar en cuenta, y que influyen en la calidad nutritiva del ensilaje. La planta de maíz suele cosecharse en los estados reproductivos, ya que es en esos estados donde se obtienen los mayores rendimientos de MS y almidón. Sin embargo, Martínez Turcios (2017) comparó las características nutricionales de cuatro estados reproductivos (R3, R4, R5, R6) y determinó que cuando la planta se corta en un estado reproductivo de R6 o madurez fisiológica tiene las mejores características nutricionales, evaluando materia seca (MS), proteína bruta (PB) fibra acido detergente (FAD) y fibra neutro detergente (FDN) (Cuadro 1).

Con respecto al porcentaje de MS, a medida la planta alcance una mayor madurez su porcentaje de MS ira aumentando respectivamente (Zopollato *et al.* 2009). Sin embargo, a medida la planta avanza en su madurez, valores como pH y PB se ven afectados negativamente, por lo tanto, cosecharlo en estadios de madurez donde los granos tengan entre 1/3 y 2/3 de la línea de leche presenta mejores valores de pH y PB (Silveira Rabelo *et al.* 2015).

Cuadro 1. Efecto de los estadios reproductivos en el ensilaje de maíz en las variables de materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FDN).

Estadio	MS (%)	PB (%)	FAD (%)	FDN (%)
R3	27.80	6.68	32.60	56.08
R4	29.30	6.70	31.44	53.94
R5	31.65	7.03	29.51	50.78
R6	35.74	7.15	28.90	47.72

R3: Grano lechoso; R4: Grano pastoso; R5: Grano dentado; R6: Madurez fisiológica; MS: Materia seca; PB: Proteína bruta; FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente.

Fuente: Martínez Turcios 2017.

Luego de poder elegir el momento óptimo de cosecha es necesario determinar el proceso picado. Durante el picado del forraje es muy importante el tamaño de la partícula, un tamaño adecuado permitirá una excelente digestibilidad y producción de saliva del animal. De acuerdo con Ramírez Ramírez (2009), el tamaño óptimo de partícula es de 1-1.5 cm, sin embargo, con un equipo de corte como forrajera se puede utilizar un diámetro de 2 cm. Tener un tamaño de partícula adecuado permitirá una mejor compactación del forraje y por lo tanto una mejor fermentación.

Luego de tener el tamaño óptimo de picado es necesario una compactación adecuada, se debe eliminar la mayor cantidad de aire posible del silo. La compactación del silo es esencial para garantizar una buena calidad, esta compactación puede ser manual o mecanizada dependiendo de la estructura a utilizar. Según Lara Muñoz (2011), la fase de llenado del silo debe hacerse en el menor tiempo posible, ya que mientras menos este expuesto el forraje al aire, menos pérdidas habrá.

Algunos inoculantes utilizados en el maíz pueden ser algunas bacterias ácido lácticas. Aditivos que contengan inóculos de bacterias como *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus acidilactici* y *Lactobacillus salivarius*, pueden mejorar la fermentación y estabilidad de la aireación en el ensilaje de maíz (Escalante y Focke 2018).

Luego de la elaboración del ensilaje, se debe hacer la apertura del silo. El tiempo de apertura del silo puede cambiar de acuerdo con las necesidades del productor y a la época del año en que se encuentre. Silos con tiempo de apertura de entre 2-12 meses no presentan cambios en las características de pH, materia seca, proteína bruta y almidón (Caffaratti 2016).

Valor nutricional del ensilaje de maíz. El valor nutricional del silo de maíz puede ser muy variable, algunas variedades pueden tener mejores características nutricionales que otras (Martínez *et al.* 2014). Además, los procedimientos, aditivos y la inclusión o no de la mazorca pueden significar diferencias en su contenido nutricional. En el Cuadro 2 se tomaron composiciones

nutricionales de ensilajes de maíz tomados de diferentes fuentes con la finalidad de comparar variables como MS, PB, FAD y FND. Se pudo observar que la investigación hecha por Hassanat *et al.* (2013) tiene los mejores valores nutricionales en todas las variables a excepción de la proteína bruta, ya que posee el valor más bajo de esta característica. El mejor de valor de proteína bruta lo presenta la investigación realizada por Young *et al.* (2012).

Cuadro 2. Composición nutricional del ensilaje de maíz en las variables de materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND).

MS (%)	PB (%)	FAD (%)	FND (%)	Fuente
38	6.80	20.1	33.3	(Hassanat <i>et al.</i> 2013)
34.9	7.9	24.2	41.5	(Ferrareto y Shaver 2015)
35.65	9.99	23.87	42.26	(Young <i>et al.</i> 2012)

MS: Materia seca; PB: Proteína bruta; FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente

Efecto de la inclusión de ensilaje de maíz en la producción de leche. El ensilaje de maíz posee un gran contenido de carbohidratos y puede ser una excelente fuente de energía para el animal, además de una cantidad importante de proteína. El efecto de la suplementación del ensilaje depende en gran medida las características genéticas de los animales que sean suplementados, además de los ingredientes con que sea mezclado el ensilaje. Sin embargo, al suplementar vacas Holstein con ensilaje y concentrado en una relación 60:40, se obtuvieron producciones máximas de leche de 34.3 kg/vaca/día (Hassanat *et al.* 2013).

Costo de ensilaje de maíz. Los costos durante la producción de ensilaje de maíz se concentran principalmente en el uso de maquinaria, significando hasta un 57.5% del total de los costos, luego el uso de insumos agrícolas con un 38.2% y la mano de obra con 4.3% (Suazo 2015). El alto porcentaje de los costos que significa la maquinaria se debe a la dependencia de esta desde el inicio del cultivo, preparación del suelo, aplicación de productos agrícolas, cosecha, transporte y proceso de ensilaje. Según Suazo (2015), el costo por tonelada de ensilaje en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano es de USD 41.10. En otras latitudes, cuando el ensilaje es comprado, su precio puede variar con las fluctuaciones de precio del grano de maíz y materia seca, ya que, a un mayor precio del grano y mayor porcentaje de MS, el ensilaje tendrá un costo mayor; en promedio el valor de una tonelada de ensilaje de maíz con un porcentaje de 33% de MS es de USD 52.2 (Feuz *et al.* 2012).

Ensilaje de sorgo

El ensilaje de sorgo es ampliamente usado en la ganadería lechera, su utilización se popularizó debido a su buena adaptabilidad a condiciones desfavorables y ser una fuente de energía y proteína para los animales.

Características agronómicas. Es una planta con un tallo esponjoso, de siete a 24 hojas, con una inflorescencia en forma de panoja, la semilla suele ser roja, amarilla u oscura con 3 mm, por otra parte, los requerimientos de temperatura son de 6-27 °C, en alturas desde del nivel del mar hasta 1,000 metros sobre el nivel del mar (León Martínez 2012).

El uso de este cultivo se ha popularizado debido a sus buenos desempeños en condiciones que limitarían el desarrollo de otros cultivos. Según Giorda y Ortiz (2012) destaca por su adaptación y excelente respuesta a condiciones edafoclimáticas que pueden limitar a cultivos como el maíz. Esta es una importante ventaja ya que es usado como fuente de alimento principalmente en épocas de verano, donde otros forrajes presentan dificultades para desarrollarse.

Existen una gran diversidad de variedades de sorgo, se deben cultivar variedades específicamente para la producción de ensilaje. Según Nava Berumen *et al.* (2017) variedades como Lico y Tom 3 pueden presentar altos rendimientos en biomasa, sin embargo, la variedad Mercedes presenta mejores rendimientos aun cuando la disponibilidad de agua es limitada. Sin importar la variedad a utilizar esta debe tener una buena proporción de granos al momento del corte (Chevez Sanabria y Espinoza Treminio 2010). El grano de sorgo es de mucha importancia porque aportara una cantidad importante de carbohidratos al ensilaje al igual que una cantidad importante de fibra y proteína.

Sin embargo, todas las variedades forrajeras de sorgo pueden ser tóxicas, esta toxicidad se debe a la presencia de un glucósido llamado dhurrina, este compuesto se encuentra principalmente en los brotes tiernos del cultivo y disminuye a medida la planta crece hasta desaparecer en el momento de la floración (Chevez Sanabria y Espinoza Treminio 2010). Debido a este compuesto que puede ser muy tóxico para los animales, la planta solo puede ser cosechada una vez comience con sus estadios reproductivos.

Proceso de ensilaje. El tiempo óptimo de corte puede variar, pero lo normal es cosechar el forraje entre 65-70% de humedad del cultivo, es decir 30-35% de MS (López Ovando 2018). El momento óptimo del corte es cuando el grano está lechoso-pastoso, ya que en este estado es cuando tienen más cantidad de carbohidratos útiles en el proceso de ensilaje (Chevez Sanabria y Espinoza Treminio 2010). Además del estado del grano, el estado fenológico de la planta es un indicador muy importante para determinar el tiempo de corte.

Sánchez Peña y Zeledón Chavarria (2019) al comparar diferentes estadios de corte del sorgo (E7, E8, E9), encontraron que el estadio E9 o madurez fisiológica del grano es donde se encontraron los mejores valores de MS y FAD siendo 28.29% y 31.10% respectivamente. Mientras los estadios vayan avanzando el contenido de agua de la planta irá descendiendo y valores de FAD irá disminuyendo.

El rendimiento de toneladas de materia por hectárea puede variar mucho entre los híbridos del sorgo, debido a su forma de crecimiento, cantidad de hojas, tamaño de panoja. Sin embargo, Díaz Díaz (2011) encontró que la variedad de sorgo Sureño presentó rendimiento de 15,101 kg/MS/ha,

(15.1 t/MS/ha). Sin embargo, Nava Berumen *et al.* (2017) obtuvieron rendimientos máximos de 14.7 t/MS/ha al evaluar tres variedades de sorgo en cuatro ambientes diferentes. El tamaño de la partícula después del picado también es un aspecto muy importante que influye en la digestibilidad del alimento. Según Sánchez Peña y Zeledón Chavarria (2019) determinaron que, durante el picado del forraje el tamaño óptimo de partícula es de 9 mm, ya que se obtienen los mejores valores de FAD.

Dentro de los inoculantes podemos encontrar diversidad de productos con distintos contenidos bacterianos o enzimáticos. Productos como LactoSilo[®] que contiene seis bacterias beneficiosas y enzimas en su contenido, la adición de este producto logra disminuir el pH del ensilaje de sorgo hasta un valor de 3.9, comparado con ensilaje de sorgo sin inoculante con un pH de 5.5, además de disminuir valores de FDA y FDN (Piñeiro 2010). Además, productos con inóculos bacterianos como el PRO[®] han logrado disminuir los contenidos de FAD y FDN en el ensilaje (Thomas *et al.* 2013). Al utilizar cepas en específico como *Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus* spp como inoculantes en ensilaje de sorgo se obtuvieron valores más bajos de pH, debido a la alta capacidad de degradar azúcares (Alhaag *et al.* 2019). Los efectos de este tipo de inoculantes pueden garantizar una mejor fermentación, bajando rápidamente el pH, lo cual proporciona un mejor ambiente a bacterias ácido-lácticas.

Valor nutricional del ensilaje de sorgo. El sorgo puede presentar diferencias nutricionales en las diversas variedades que existen. En el Cuadro 3 se detalla la composición nutricional del ensilaje de sorgo obtenida de diferentes fuentes.

Cuadro 3. Composición nutricional de ensilaje de sorgo en las variables de materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND).

MS (%)	PB (%)	FAD (%)	FND (%)	Fuente
26.57	6.96	32.81	59.99	(Durán y Hernández 2011)
22.27	7.37	45.99	71.13	(Cattani <i>et al.</i> 2017)
28.7	9.0	35.9	54.2	(Bernard y Tao 2015)

MS: Materia seca; PB: Proteína bruta; FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente.

El ensilaje con los mejores valores de MS, PB y FND fue el tomado de la investigación realizada por Bernard y Tao (2015). Por otra parte, mejor valor de FAD lo obtuvo el ensilaje tomado de la investigación de Durán Aguirre y Hernández Reyes (2011).

Efecto de la inclusión de ensilaje de sorgo en la producción de leche. El efecto de la inclusión de ensilaje de sorgo en la dieta de vacas lecheras con una composición de con 7.73 kg de ensilaje, 10.04 kg de concentrado y 2.78 kg de heno; al suplementarse en grupos de vacas con razas Holstein, Pardo Suizo, Jersey y sus cruces, puede ser de hasta 29.19 kg/vaca/día (Durán Aguirre y Hernández Reyes 2011).

Costo de ensilaje de sorgo. El costo para la producción de ensilaje de sorgo se concentra en el uso de maquinaria 42.3%, insumos 37%, mano de obra 15% y suministros 6% del total de los costos, y se obtuvo un costo de USD 26.42 por tonelada incluyendo la cosecha del rebrote, si no se cosechara el rebrote el costo aumentaría hasta USD9.5 (Suazo 2015). Sin embargo, el costo de producción puede fluctuar con el rendimiento por hectárea que se obtenga, por lo tanto, con un rendimiento de 50/ha el costo de producción es de USD 27.70 (Obembe 2014).

Ensilaje de caña de azúcar

El ensilaje de caña es un alimento de mucha importancia nutritiva, en especial por su alto contenido de azúcares y fibra (Salazar Ortiz *et al.* 2017). Además de la MS son componentes indispensables para un ensilaje de calidad. Sin embargo, su alto contenido de azúcares puede causar problemas durante su proceso de ensilaje, principalmente en una fermentación alcohólica que puede afectar la composición del alimento (Arredondo Pérez 2011).

Características agronómicas. Es una planta monocotiledónea, con raíces primordiales provenientes de la estaca y raíces permanentes de los brotes nuevos, el órgano de principal importancia es el tallo pues es ahí donde se almacena las mayores cantidades de azúcar, hojas provenientes de los nudos, y una flor en forma de panícula alargada (Lopez Bustamante 2015). El uso del cultivo de la caña en la alimentación animal puede tener muchas formas, ya sea en subproductos como melaza, bagazo o usar la planta directamente como forraje o ensilarla (Arredondo Pérez 2011).

Es uno de los cultivos forrajeros más utilizados por su valor nutritivo y su alto rendimiento siendo de 25-40 t/MS/ha (Ávila *et al.* 2010). Sin embargo, Cordeiro Bezerra *et al.* (2017) al evaluar el rendimiento de cinco variedades de caña destinadas a producción de forraje, encontró rendimientos de hasta 34.9 t/MS/ha. La importancia de la planta radica en que es altamente productora de biomasa, concentra sacarosa en sus tallos y conserva sus valores nutricionales en épocas secas del año (Arredondo Pérez 2011). Además, ofrece una ventaja desde el punto de vista de cosecha, ya que una vez la planta alcance su punto óptimo de cosecha, se puede cosechar en una ventana de dos a tres meses, a diferencia de otras gramíneas como sorgo o maíz que son más exigentes en el tiempo de cosecha una vez alcancen el punto de corte.

Proceso de ensilaje de caña de azúcar. La primera actividad a realizar es la de la cosecha, normalmente esta actividad se hace al transcurrir nueve meses después del establecimiento del cultivo, dependiendo de la variedad utilizada (Mesén Villalobos y Durán Alfaro 2011). Durante el picado el tamaño óptimo de partícula es clave para una buena compactación y fermentación. Según Cano Espinoza y Ferreira Bultrón (2012) tamaños de partícula entre 3.5, 8.5 y 11 mm no presentan un cambio de pH en el ensilaje.

La caña de azúcar contiene valores muy altos de azúcares solubles, aproximadamente 18 ° Brix (Salazar Ortiz *et al.* 2017). Esto puede generar serias complicaciones al momento de ensilar el alimento ya que ese elevado contenido de azúcares puede propiciar fermentaciones alcohólicas que son indeseables en el proceso de ensilaje. Para contrarrestar este tipo de problemas, se ha implementado el uso de aditivos que permiten controlar la fermentación durante el proceso de ensilaje. Según Faria Pedroso *et al.* (2008), la adición de benzoato de sodio e inóculos de bacteria *Lactobacillus plantarum* en el forraje de caña a ensilar, son los dos adictivos que permiten un mejor

control durante la fermentación, ya que reducen significativamente la producción de etanol durante el ensilaje.

Valor nutricional. El valor nutricional de la caña de azúcar ha sido catalogado como bajo en la cantidad de proteína total siendo menor al cinco por ciento (Salazar Ortiz *et al.* 2017). Sin embargo, una vez terminado el proceso de ensilaje se pueden obtener buenos valores nutricionales del alimento. Una de las grandes ventajas del cultivo de la caña es el alto porcentaje de MS en su composición, siendo de 31.65% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición nutricional de ensilaje de caña de azúcar en las variables de materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND).

MS (%)	PB (%)	FAD (%)	FND (%)	Fuente
31.65	3.25	30.52	53.58	(Muller <i>et al</i> 2008)
23.0	2.18	34.9	63.6	(Gandra <i>et al</i> 2016)
24.03	4.08	47.25	70.92	(Roman <i>et al</i> 2011)

MS: Materia seca; PB: Proteína bruta; FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente.

Para los valores de MS, FAD y FND el ensilaje que presenta los mejores valores es el ensilaje tomado de la investigación de Muller Queiroz *et al.* (2008). Por otra parte, el ensilaje con el valor más alto de PB fue ensilaje de la investigación realizada por Roman *et al.* (2011).

Efecto del ensilaje de caña en producción de leche. El efecto de la inclusión de ensilaje de caña y concentrado en la dieta de vacas Holstein para la producción de leche suplementadas con una proporción de 40% de ensilaje y 60% concentrado y otros ingredientes representa una producción de 24.4 kg/vaca/día (Muller Queiroz *et al.* 2008).

Costos de ensilaje de caña de azúcar. El ensilaje de caña de azúcar, cortada a una edad de 11 meses tiene un costo de USD 23.99/t de ensilaje (León Suarez y López Castillo 2009).

6. COMPARACIÓN DE LOS TRES ENSILAJES (MAÍZ, SORGO, CAÑA DE AZÚCAR)

Para efecto de comparar los tres ensilajes, desde el punto de vista de rendimiento en campo se puede observar (Cuadro 5) que el ensilaje que presenta más toneladas de MS por hectárea es la caña de azúcar con 34.9 t/MS/ha, y el que tiene rendimientos más bajos es el sorgo con 14.7 t/MS/ha.

Cuadro 5. Comparación de rendimiento de los cultivos en t/MS/ha.

Cultivo	Rendimiento t/MS/ha	Fuente
Maíz	24	(Zaragoza <i>et al.</i> 2019)
Sorgo	14.7	(Nava <i>et al.</i> 2017)
Caña de azúcar	34.9	(Cordeiro <i>et al.</i> 2017)

Además de una comparación del rendimiento, es necesario comparar la composición nutricional de cada ensilaje para poder determinar aquel ensilaje con las mejores características (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación nutricional de los tres ensilajes (maíz, sorgo, caña de azúcar) en las variables de materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND).

Ensilaje	Descripción (%)				Fuente
	MS	PB	FAD	FND	
Maíz	38	6.8	20.1	33.3	Hassanat <i>et al.</i> 2013
	34.9	7.9	24.2	41.5	Ferrarreto y Shaver 2015
	35.65	9.99	23.87	42.26	Young <i>et al.</i> 2012
Sorgo	26.57	6.96	32.81	59.99	Duran y Hernández 2011
	22.27	7.37	45.99	71.13	Cattani <i>et al.</i> 2017
	28.7	9.0	35.9	54.2	Bernard y Tao 2015
Caña de azúcar	31.65	3.25	30.52	53.28	Muller <i>et al.</i> 2008
	23.0	2.18	34.9	63.6	Gandra <i>et al.</i> 2016
	24.03	4.08	47.25	70.92	Roman <i>et al.</i> 2011

MS: Materia seca; PB: Proteína bruta; FAD: Fibra ácido detergente; FND: Fibra neutro detergente.

El ensilaje de maíz presentó los mejores valores en las características nutricionales presentadas al compararse con los demás ensilajes de sorgo y caña de azúcar.

En el Cuadro 7 se puede observar el efecto de la inclusión de cada ensilaje en la producción de leche según las fuentes consultadas. El ensilaje de maíz en dieta de vacas lecheras presentó la producción de leche más alta (34.3 kg/vaca/día), por otra parte, el ensilaje de caña de azúcar presentó el valor más bajo en la producción de leche (24.4 kg/vaca/día).

Cuadro 7. Comparación del efecto de la inclusión de cada ensilaje en la producción de leche kg/vaca/día.

Ensilaje	Producción de leche kg/vaca/día	Fuente
Maíz	34.3	(Hassanat <i>et al.</i> 2013)
Sorgo	29.19	(Duran y Hernández 2011)
Caña de Azúcar	24.4	(Muller <i>et al.</i> 2008)

Se procedió a comparar el costo de la tonelada en los tres ensilajes (Cuadro 8), todos los costos fueron tomados de diversas investigaciones de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Cuadro 8. Comparación del costo por tonelada para los ensilajes de maíz, sorgo, caña de azúcar.

Ensilaje	Costo (USD/t de ensilaje)	Fuente
Maíz	41.10	(Suazo 2015)
Sorgo	26.42	(Suazo 2015)
Caña de azúcar	23.99	(León y López 2009)

En la comparación de los costos, el ensilaje que presentó menor costo por t/ensilaje fue la caña de azúcar (USD 23.99), por otra parte, el ensilaje con el mayor costo fue el de maíz (USD 41.10).

7. CONCLUSIONES

- El ensilaje de maíz tiene las mejores características nutricionales cuando se evalúa materia seca, proteína bruta, fibra ácido detergente, y fibra neutro detergente de acuerdo a la revisión de literatura.
- Al suplementar el ensilaje de maíz se obtienen mayores producciones de leche según las fuentes consultadas.
- Se determinó que el ensilaje de caña tiene el menor costo por tonelada (USD 41.10/t de ensilaje) con base a la revisión de literatura.
- El cultivo con mejor rendimiento (34.9 t/MS/ha) fue el de caña de azúcar según la revisión de literatura.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar una investigación experimental donde se comparen los tres ensilajes (maíz, sorgo y caña de azúcar) en la producción de leche, en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Comparar diferentes edades de corte en caña de azúcar para la producción de ensilaje de caña.
- Comparar el costo-beneficio de suplementar los tres ensilajes (maíz, sorgo y caña de azúcar) en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

9. LITERATURA CITADA

- Alaniz Villanueva OG. 2008. Adición de residuo de la industria cervecera al ensilaje de maíz como alternativa de forraje para ganado [Tesis]. México: Instituto Politécnico Nacional. 37 p.
- Alhaag H, Yuan X, Mala A, Bai J, Shao T. 2019. Fermentation characteristics of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus species* isolated from sweet sorghum silage and their application as silage inoculants. *Applied Sciences*. 9(6): 1-17.
- Ávila CL, Bravo Martins CE, Schwan RF. 2010. Identification and characterization of yeasts in sugarcane silages. *Journal of Applied Microbiology*. 109(5): 1677-1686.
- Arredondo Pérez LS. 2011. Evaluación del efecto de tres diferentes aditivos sobre parámetros de valor nutricional del ensilaje de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en condiciones tropicales [Tesis]. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 50 p.
- Bernard JK, Tao S. 2015. Short communication: Production response of lactating dairy cows to brachytic forage sorghum silage compared with corn silage from first or second harvest. *Journal of Dairy Science*. 98(12): 8994-9000.
- Caffaratti OA. 2016. Efecto del tiempo de maduración sobre la calidad de silajes de planta entera de maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) [Tesis]. Colombia: Universidad Nacional de Villa María. 51 p.
- Callejo A. 2018. Conservación de forrajes (v): fundamentos del ensilado. España: Frisona Española; [consultado el 7 de jun de 2020]. <http://www.revistafrisona.com/Noticia/conservacion-de-forrajes-v-fundamentos-del-ensilado>
- Cano Espinoza AB, Ferreira Bultrón EJ. 2012. Efecto en pH y proteína cruda de cuatro dosis de bacterias homofermentativas de ácido láctico con tres niveles de picado en ensilaje de caña de azúcar [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 12 p.
- Cattani M, Guzzo N, Montovani R, Bailoni L. 2017. Effects of total replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 8(15): 1-8.
- Chevez Sanabria E, Espinoza Treminio A. 2010. Efecto de cuatro densidades de siembra y niveles de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de biomasa seca del sorgo forrajero variedad INTA forrajero en el periodo comprendido 2008 – 2009 [Tesis]. Nicaragua: Universidad Autónoma de Nicaragua. 51p.
- Colombatto D, Beauchemin KA. 2014. A protease additive increases fermentation of alfalfa diets by mixed ruminal microorganisms *in vitro*. *Journal of Animal Science*. 87(3): 1097-1105.
- Cordeiro Bezerra JD, Gonçalves Ferreira GD, Souza Campos JM, Oliveira MW, Andrade AP, Nascimento Júnior JR. 2017. Biometric and chemical characteristics of sugarcane varieties for use as forage in limiting soil water conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 46(5): 384-392.

- Demagnet Filippi R. 2017. Ensilaje de maíz “tiempo entre sellado y apertura”. 3°. Chile: Plan Lechero Watts; [consultado el 14 de jun de 2020]. <https://www.consorcioblechero.cl/industria-lactea/wp-content/uploads/2017/10/ensilaje-de-maiz-tiempo-entre-sellado-y-apertura1.pdf>
- Diaz Diaz LA. 2011. Evaluación comparativa de sorgo nervadura café (Pampa Centurión) y sorgo nervadura blanca (Sureño) para la producción de ensilaje, Zamorano, Honduras [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 10 p.
- Durán Aguirre CE, Hernández Reyes HJ. 2011. Alimentación de vacas lecheras con ensilajes de sorgos híbridos sureño y pampa-centurión [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 11 p.
- Elizondo Guzmán JO. 2013. Evaluación del rendimiento de los híbridos de maíz dk357vtpro[®], dk7088vtpro[®] y p4082whr[®] para la producción de ensilaje, Zamorano, Honduras [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 10 p.
- Elizondo Salazar JA. 2011. Influencia de la variedad y altura de cosecha sobre el rendimiento y valor nutritivo de maíz para ensilaje. *Agronomía Costarricense*. 35(2): 105-111. ISSN: 0377-9424
- Escalante JR, Focke MB. 2018. Efecto de un inoculante en la calidad fermentativa en el ensilado de maíz (*Zea mays* var. Elena UNLPam) [Tesis]. Argentina: Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa. 33 p.
- Espinoza Guerra IE, Bolívar Montenegro L, Vallejo Torres CA, López Vera MR, García Montes YM. 2015. Efecto de inoculantes microbianos sobre las características químicas y fermentativas de ensilajes de maíz forrajero. *ESPAMCIENCIA*. 6(1): 15-21.
- Faria Pedroso A, Nussio LG, Santana Loures DR, Paziani SF, Ribeiro JL, Mari LJ, Zopollatto M, Schmidt P, Soares Mattos WR, Horii J. 2008. Fermentation, losses, and aerobic stability of sugarcane silages treated with chemical or bacterial additives. *Sciencia Agricola*. (6): 589-594.
- Ferraretto LF, Shaver RD. 2015. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. 98(4): 2662-2675.
- Feuz D, Israelsen C, Young A, Holmgren L. 2012. Buying and selling corn silage or other high moisture feeds: value the feed not the water. Estados Unidos: Utah State University; [consultado el 1 de ago de 2020]. https://digitalcommons.usu.edu/extension_curall/1302/.
- FIRA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2019. Panorama agroalimentario leche y lácteos. México: Dirección de Investigación y Evaluación Económica Sectorial; [consultado el 29 de jun de 2020]. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Leche-y-la769cteos-2019.pdf>
- Gandra JR, Oliveira ER, Takiya CS, Goes RH, Paiva PG, Oliveira KM, Gandra ER, Orbach ND, Haraki HM. 2016. Chitosan improves the chemical composition, microbiological quality, and aerobic stability of sugarcane silage. *Journal of Animal Feed Science and Technology*. 214: 44-52.

- Gaucha Abarca E. 2014. Caracterización agro-morfológica del maíz (*Zea mays* L.) de la localidad San José de Chazo [Tesis]. Ecuador: Escuela Superior Politécnica Chimborazo. 91 p.
- Garcés Molina AM, Berrio Roa L, Ruiz Alzate S, Serna de León JG, Builes Arango AF. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista Lasallista*. 1(1):66-71.
- Giorda LM, Ortiz D. 2012. Sorgo para la sustentabilidad y producción animal del NEA. Estrategias para una mayor productividad. 1º jornada de silaje del NEA. Estación Experimental Agropecuaria El Colorado del INTA. 17 de abril de 2012. Argentina: Instituto Nacional Tecnología Agraria.
- González Moreno E. 2015. Bromatología del ensilado de pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) fertilizado con ENTEC® e inoculado con Sil-All 4x4® [Tesis]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 62 p.
- Gurdián Guardia M. 2018. Evaluación del potencial de ensilabilidad y valor nutricional del ensilado de cuatro variedades costarricenses de maíz en Santa Lucía de Barva, Heredia [Tesis]. Costa Rica: Universidad Nacional de Costa Rica. 81 p.
- Hassanat F, Gervais R, Julien C, Massé DI, Lettat A, Chouinard PY, Petit HC, Benchaar C. 2013. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science*. 96(7): 4553-4567.
- Herrera Zúñiga M. 2010. Comparación de los costos y de la exactitud en la medición de la proteína del sistema de análisis con espectrometría infrarroja cercana (NIR) contra el sistema químico de referencia tradicional para la inspección de calidad de materias primas sólidas en concentrados alimenticios para animales [Tesis]. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. 85 p.
- Jiménez DL, Romo Rubio J, Flores Aguirre L, Ortiz Lopez B, Barajas Cruz R. 2016. Edad de corte en la composición química del ensilado de maíz blanco asgrow7573. *Abanico Veterinario*. 6(3). 13-23.
- Lara Muñoz J. 2011. Aditivos para el mejoramiento del ensilaje de maíz forrajero [Tesis]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo- México. 42 p.
- León Martínez O. 2012. El cultivo del sorgo [Tesis]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 53 p.
- León Suarez VD, López Castillo VM. 2009. Comparación del ensilaje de caña de azúcar y el ensilaje de maíz mezclado con *Mucuna pruriens* como forraje para vaquillas de reemplazo [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 11 p.
- Leyva Jiménez D, Romo Rubio J, Flores Aguirre L, Ortiz López B, Barajas Cruz R. 2016. Edad de corte en la composición química del ensilado de maíz blanco asgrow7573. *Abanico Veterinario*. 6(3):13-23.
- Lopez Bustamante JF. 2015. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela. caso: nordeste del departamento de Antioquia [Tesis]. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 70 p.
- López Ovando IA. 2018. Evaluación de tres tipos de ensilaje de sorgo forrajero variedad ICTA f-947; Oratorio, Santa Rosa [Tesis]. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. 77 p.

- Martínez A, Argamentoría A, Begoña R. 2014. Manejo de ensilajes para ensilar. Asturias, España. España: SERIDA; [consultado el 30 de jun de 2020]. <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=6079>
- Martínez Turcios DA. 2017. Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 15 p.
- Maruelli JN. 2017. Valoración nutritiva de los alimentos: importancia de la fibra en la alimentación animal [Tesis]. Argentina: Universidad Nacional de la Pampa. 46 p.
- Masis Brenes K, Morales Abarca F. 2017. Producción y productividad de ganado vacuno de carne y de leche en Costa Rica de 1984 a 2014. e-Agronegocios. 3(1): 2-16.
- Mesén Villalobos M, Durán Alfaro JR. 2011. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y su uso en la ganadería. Costa Rica: INTA/LAICA/MAG; [consultado el 12 de jul de 2020]. <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/05/00405-folletocanadeazucar.pdf>.
- Muller Queiroz OC, Nussio Gustavo L, Schmidt P, Ribeiro JL, Castillo Santos M, Zopollatto M. 2008. Silagem de cana-de-açúcar comparada a fontes tradicionais de volumosos suplementares no desempenho de vacas de alta produção. Revista Brasileira da Zootecnia. 37(2): 358-365.
- Nava Berumen CA, Rosales Serna R, Jiménez Ocampo R, Carrete Carreón FO, Domínguez Martínez PA, Murillo Ortiz M. 2017. Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de Durango. Revista Mexicana de Ciencia Pecuaria. 8(2): 147-155.
- Obembe OS. 2014. Economic analysis of sorghum silage potential for dairy industry in the Texas high plains. Estados Unidos: Texas A&M University; [consultado el 2 de ago de 2020]. <https://ageconsearch.umn.edu/record/162423/>.
- [OCDE] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2018. Perspectivas agrícolas OCDE-FAO 2018-2027. 14°. México: OCDE; [consultado el 6 de jun de 2020]. https://read.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/ocde-fao-perspectivas-agricolas-2018-2027_agr_outlook-2018-es#page4
- Ordoñez González LE. 2015. Efecto de la producción y calidad forrajera de ensilaje en maíz (*Zea mays* L.), sometido a dos edades de corte y cinco periodos de conservación [Tesis]. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas. 53 p.
- Palma Parodi F, Landi HG. 2012. Enzimas fibrolíticas: una alternativa para incrementar la utilización de pared celular por rumiantes. FAVE. 11(1-2): 71-81.
- Piñeiro G. 2010. Manual Práctico LactoSilo para lograr ensilados de alta calidad. 3° ed. Estados Unidos, Becker Underwood; [consultado el 5 de jul de 2020]. <http://www.innocua.net/web/download-5520/manual-lactosilo.pdf>

- Pérez Gutiérrez E. 2017. Manual de manejo: sistemas intensivos sostenibles de ganadería de leche. Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA); [consultado el 29 de jun de 2020]. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-10927.pdf>
- Ramírez Ramírez HU. 2009. Ensilado de maíz para ganado lechero. consejos prácticos ilustrados para mejorar la calidad del ensilado. Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto; [consultado el 27 de jun de 2020]. <http://www.produccion-animal.com.ar/>
- Rezende Siqueira G, Andrade Reis R, Schocken Iturrino RP, Vieira Pires AJ, Fernandez Bernardes T, Camargo Do Amaral R. 2007. Pérdida de ensilaje de caña de azúcar tratado con aditivos químicos y bacterianos. *Revista Brasileira da Zootecnia*. 36(6): 2000-2009.
- Rodríguez Martínez AA. 2014. Calidad de ensilaje en bolsa elaborado con silo prensa de palanca manual vs ensilaje elaborado artesanalmente [Tesis]. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. 27 p.
- Rodríguez Chacón S, López Herrera M, WingChing Jones R, Rojas Bourrillón A. 2014. Adición de melaza deshidratada y urea en ensilados de rastrojos de piña. *Agronomía Mesoamericana*. 25(2): 313-321.
- Roman J, Cabreira Jobim C, Dutra de Resende F, Rezende Siqueira G, Faria MH, Oliveira Neto RA. 2011. Performance of finishing beef cattle fed different diets containing whole-crop maize silage or sugarcane silage. *Revista Brasileira da Zootecnia*. 40(3): 682-689.
- Sánchez Peña MJ, Zeledón Chavarria CE. 2019. Efecto del estadio de desarrollo y tamaño de partícula de picado sobre la composición química del ensilaje de sorgo Sureño [Tesis]. Honduras: Universidad Agrícola Panamericana, Zamorano. 18 p.
- Salazar Ortiz J, Trejo Téllez LI, Valdez Valero A, Santíes Herrera HE, Rosas Rodríguez M, Gallegos Sánchez J, Crosby Galván MM, Gómez Merino FC. 2017. Caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la alimentación de rumiantes: experiencias generadas con cañas forrajeras. *Agroproductividad*. 10(11): 70-75.
- Silveira Rabelo CH, Vilela Rezende A, Silveira Rabelo FH, Carvalho Basso F, Joice Härter C, Andrade Reis R. 2015. Chemical composition, digestibility and aerobic stability of corn silages harvested at different maturity stages. *Revista Caatinga*. 28(2):107-116.
- Solís Villacrés R. 2017. Efecto de la adición de *Bacillus* spp. en ensilaje de maíz (*Zea mays*) sobre la cinética de degradación ruminal *in situ* y fermentación ruminal *in vitro*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 46 p.
- Suazo A. 2015. Informe final de producción de ensilaje 2014. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 16 p.
- Thomas ME, Foster JL, McCuiston KC, Redmon LA, Jessup RW. 2013. Nutritive value, fermentation characteristics, and *in situ* disappearance kinetics of sorghum silage treated with inoculants. *Journal of Dairy Science*. 96(11): 7120-7131.
- Valencia Ramírez AF. 2016. Los ensilajes: una mirada a esta estrategia de conservación de forraje para la alimentación animal en el contexto colombiano [Tesis]. Colombia: Universidad de La Salle. 60 p.

- Wu Z, Ruth G. 2017. Considerations in managing cutting height of corn silage. Estados Unidos: Pennsylvania University; [consultado el 7 de sep. de 2020]. <https://extension.psu.edu/considerations-in-managing-cutting-height-of-corn-silage>
- Young KM, Lim JM, Der Bedrosian MS, Kung Jr. L. 2012. Effect of exogenous protease enzymes on the fermentation and nutritive value of corn silage. *Journal of Dairy Science*. 95(11): 6687-6694.
- Zaragoza Esparta J, Tadeo Robledo M, Espinosa Calderón A, López López A, García Espinosa JC, Zamudio González B, Turrent Fernández A, Rosado Núñez F. 2019. Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *REMEXCA*. 10(1): 101-111.
- Zopollato M, Nussio LG, Mari LJ, Schmidt P, Pereira Duarte A, Barreto Mourão G. 2009. Cambios en la composición morfológica según la etapa de madurez en cultivares de maíz para producción de ensilaje. *Revista Brasileira da Zootecnia*. 38(3): 452-461.